

Aki Valtanen

## Puukahmarin kehitystyö



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Tiivistelmä**

**Tekijä:** Valtanen Aki

**Työn nimi:** Puukahmarin kehitystyö

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

**Asiasanat:** Puukahmari, SolidWorks, koneensuunnittelu

Puukahmarit ovat tukkien siirtoon tarkoitettuja työvälineitä. Puukahmareilla nostetaan tukkeja purettaessa tai lastattaessa tukkikuormia. Puukahmareita voidaan käyttää monenlaisissa eri työkohteissa.

Opinnäytetyössä suunniteltiin Teräsasennus Mankinen Oy:n asiakkaan puukahmariin muutoksia. Asiakas ei ollut täysin tyytyväinen puukahmarinsa toimintaan, joten puukahmarin toimintaa pyrittiin kehittämään. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella puukahmarin lukitusketjujen tilalle hydraulilukitukset toimiset puristinvarret ja laatia muutoksista valmistuskuvat.

Puukahmarin muutokset suunniteltiin SolidWorksin avulla. SolidWorksin avulla tutkittiin myös ratkaisun kestoa lujuusanalyysin sekä väsymisanalyysin avulla. Suurimmalle rasitukselle kohdistuvien osien kestoa tutkittiin myös laskemalla.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin 3D-malli sekä valmistuskuvat asiakkaan puukahmarista. Valmistuskuvien perusteella tarvittavat osat valmistettiin Teräsasennus Mankinen Oy:n konepajalla ja asennettiin asiakkaan puukahmariin. Valmis puukahmari luovutettiin myöhemmin asiakkaalle, joka oli tyytyväinen tulokseen.

## **Abstract**

**Author:** Valtanen Aki

**Title of the Publication:** Development of Log Grapple

**Degree Title:** Mechanical and Production Engineering

**Keywords:** Log grapple, SolidWorks, machine design

Log grapples are equipment for heavy duty machinery. Log grapples are needed when an operator wants to pick up logs and move them from one place to another. The most basic situations when logs need to be moved is when logs are loaded or unloaded during their transportation. There are many places where logs need to be loaded or unloaded, for example forests and harbours.

The purpose of this Bachelor's thesis was to design changes to a log grapple. The owner of the log grapple and the client of Teräsasennus Mankinen wasn't happy with his log grapple and he had an idea how to improve its usability. Originally the log grapple included locking chains but the client wanted them to be removed. Instead of locking chains he wanted hydraulic clamping arms to be installed to his log grapple. With hydraulic clamping arms handling of logs will be better in the client's opinion so the target of this Bachelor's thesis was to design a working solution and make drawings for production.

Hydraulic clamping arms and other changes to the log grapple were designed with SolidWorks. SolidWorks also includes simulation tools so these tools were used to research how strong the solution would be. All parts were tested with SolidWorks Simulation for structural and fatigue analysis. With SolidWorks simulation the weakest spots were seen and the strength of those parts were also researched by using strength calculation.

As a result of the thesis, proper drawings and a 3D-model of clients of the log grapple were made. The drawings made it possible to manufacture parts and install them to the log grapple at Teräsasennus Mankinen. Later the modified log grapple was delivered to the client and he was very satisfied with the result.

## Sisällys

1	JOHDANTO .....	1
2	PUUKAHMARIT .....	2
2.1	Toiminta .....	2
2.2	Markkinoilla olevia valmistajia .....	4
3	SOLIDWORKS.....	6
3.1	Osatiedosto .....	6
3.2	Kokoonpanotiedosto .....	7
3.3	Piirustukset .....	8
3.4	Simulaatio .....	9
4	TERÄS MATERIAALINA .....	11
4.1	Teräksen valmistus .....	11
4.2	Teräksen ominaisuudet .....	12
4.3	Hitsattavuus .....	14
5	HITSAUS .....	16
5.1	Hitsausliitos .....	16
5.2	Hitsausliitoksen suunnittelu .....	17
6	TYÖN TOTEUTUS.....	19
6.1	Lähtökohdat .....	19
6.2	Ratkaisujen pohdinta.....	22
6.3	SolidWorks-simulointi .....	27
6.4	Valmistus ja lujuustarkastelu .....	32
6.5	Valmis ratkaisu.....	42
7	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Teräsasennus Mankinen Oy. Teräsasennus Mankinen on vuonna 1990 perustettu tilauskonepaja, joka on erikoistunut suurten hitsattujen rakenteiden ja koneiden valmistukseen sekä teollisuuskunnossapitoon. Opinnäytetyön aiheena on Teräsasennus Mankinen Oy:n asiakkaan puukahmariin tehtävien muutosten suunnittelu. Asiakkaan puukahmari ei palvellut asiakasta hänen haluamallaan tavalla, jonka takia puukahmariin tuli suunnitella muutoksia.

Puukahmarit ovat puiden ja tukkien siirtoon käytettäviä työvälineitä. Puukahmareita tarvitaan tukkien nostamiseen purettaessa tai lastattaessa tukkikuormia. Puukahmareita voidaan käyttää monissa erilaisissa työkoneissa. Teräsasennus Mankinen Oy:n asiakkaan puukahmari on tarkoitettu satamakäyttöön ja onkin tämän takia varsin suurikokoinen.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda 3D-malli asiakkaan puukahmarista ja siihen tehtävistä muutoksista. 3D-mallin lisäksi puukahmarista tulee laatia piirustukset, joista käy ilmi muutokset sekä uusien osien mitoitus. Näiden piirustusten eli valmistuskuvien tulee olla sellaiset, että niiden perusteella puukahmariin voidaan tehdä asiakkaan haluamat muutokset Teräsasennus Mankinen Oy:n konepajalla.

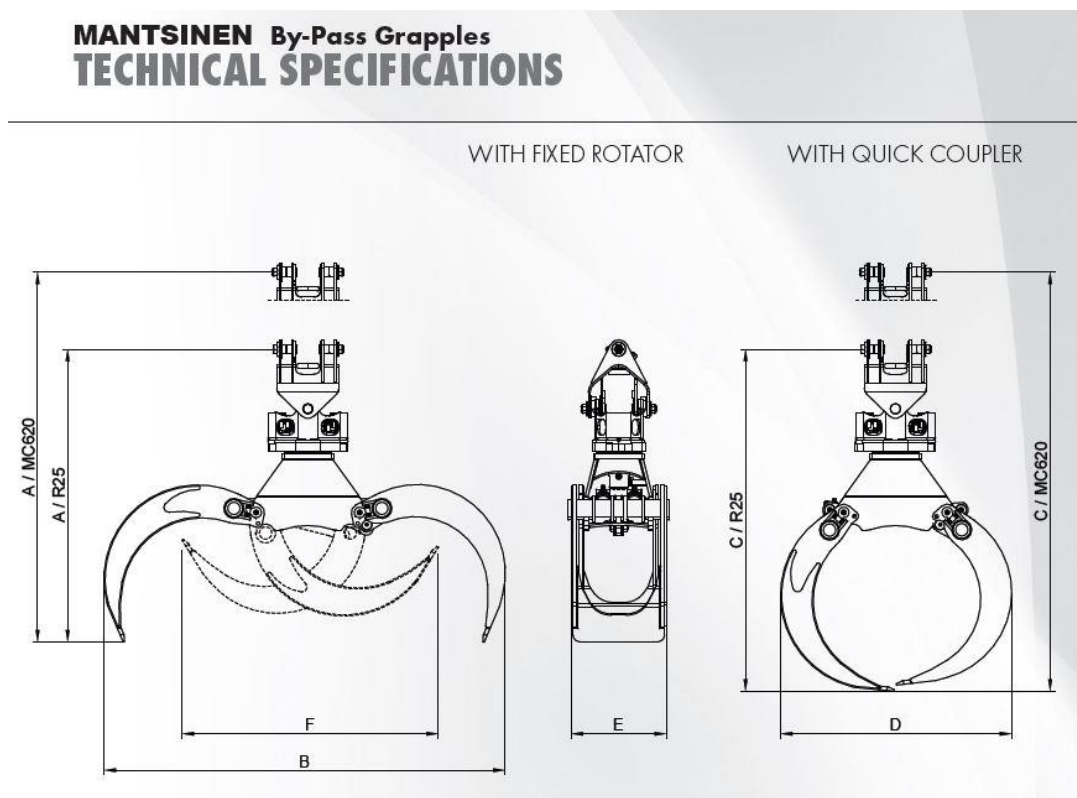
Opinnäytetyö rajautuu asiakkaan puukahmariin tehtäviin muutoksiin. Suunnittelutyössä käytetään apuna SolidWorks 2014-ohjelmistoa mallin, simuloinnin ja piirustusten osalta. Opinnäytetyössä käsitellään suunnittelutyön lisäksi valittuja valmistusmateriaaleja sekä valmistukseen liittyviä seikkoja.

## 2 PUUKAHMARIT

### 2.1 Toiminta

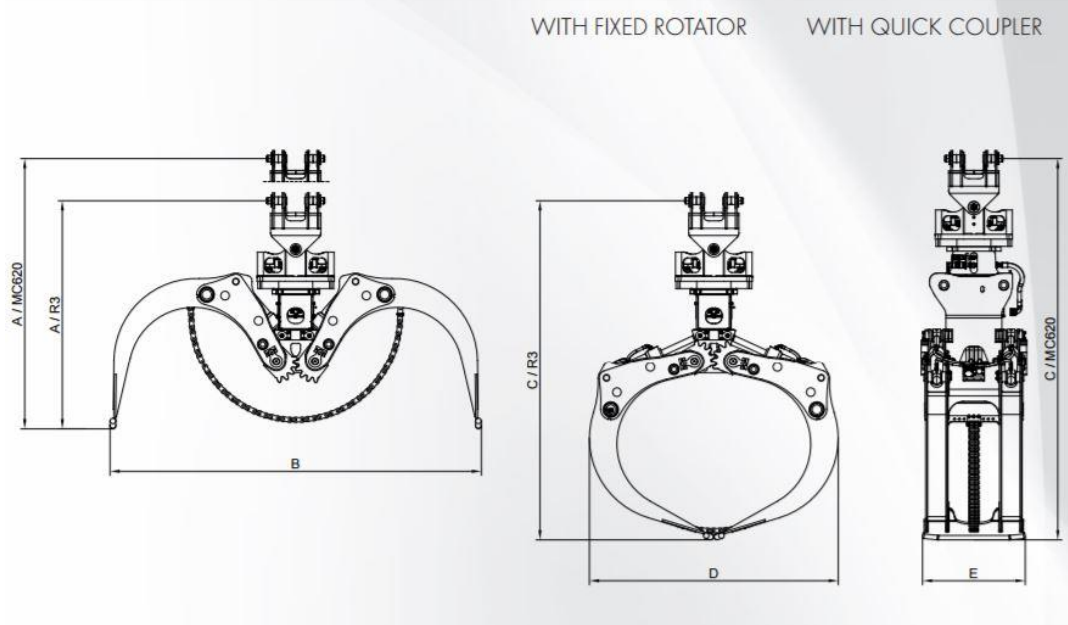
Puukahmarit ovat puutavaran käsittelyyn tarkoitettuja nostolaitteita. Puukahmarit ovat tärkeä osa metsäteollisuutta, ja niitä käytetään lähes aina, kun puutavaraa puretaan tai lastataan kuljetusta varten. Yleisin puutavara, jota puukahmareilla nostetaan, ovat harvesteerin kaatamat puut eli tukit. Tukkien kuljetuksen yhteydessä tukkeja puretaan ja lastataan esimerkiksi metsissä ja satamissa, jolloin puukahmarit tulevat tarpeeseen.

Yksinkertaisimmillaan puukahmari koostuu kahdesta vastakkaisesta leuasta tai pihdistä, joiden väliin puutavara suljetaan nostoa varten. Leukoja tai pihtejä käytetään yhdellä tai useammalla hydraulikkasyylinterillä, jotka ovat kiinni nivelletysti puukahmarin rungossa sekä leuoissa. Nämä leuat tai pihdit voivat kohdata puristuksen aikana (tip-to-tip) tai mennä limittäin (by-pass). By-pass-tyyppien puukahmari on esitetty kuvassa 1 ja tip-to-tip-tyyppinen puukahmari kuvassa 2. Joka tapauksessa leukojen tai pihtien avulla tukeista saadaan puristava ote ja täten nostaminen on mahdollista. Puukahmarin leuat tai pihdit ovat yleensä koverretut, jotta tukit on helpompi nostaa maasta tai pinosta. [1.] [2.] [3.]



Kuva 1. By-pass-tyyppinen puukahmari [2.]

## MANTSINEN Tip-To-Tip Grapples TECHNICAL SPECIFICATIONS



Kuva 2. Tip-to-tip-tyyppinen puukahmari [3.]

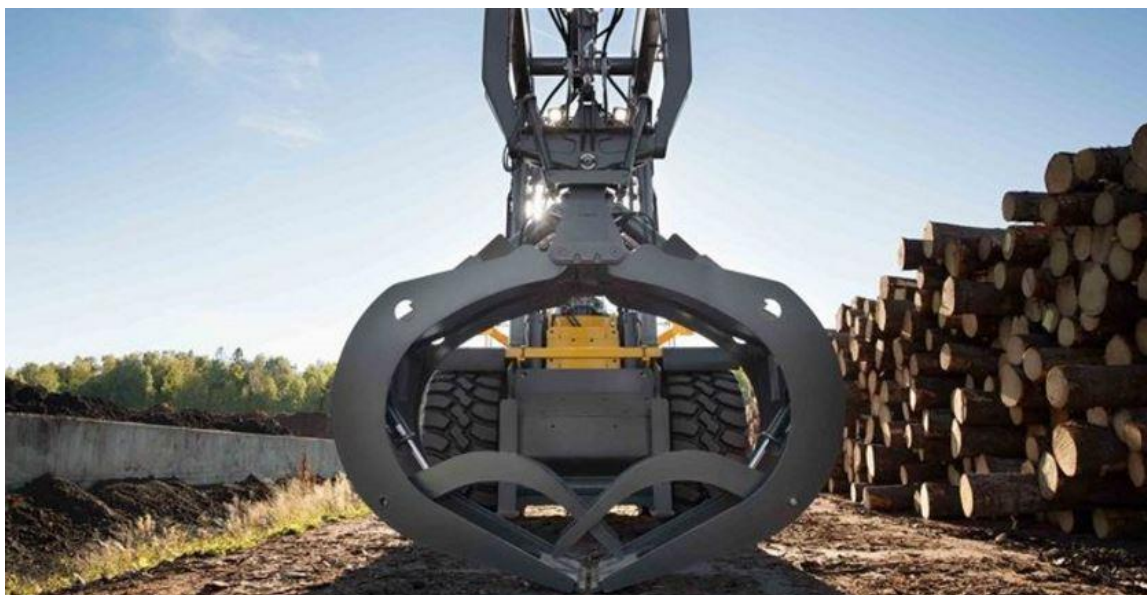
Käytettäessä yksinkertaisia puukahmareita, jotka koostuvat kahdesta leuasta tai pihdistä, syntyy noston aikana silloin tällöin ongelmia, koska tukkien määrä ja koko vaihtelevat hyvin paljon. Mikäli yritetään nostaa liian suurta tai liian pientä kasaa tukkeja, voivat tukit livetä tai jopa pudota täysin puukahmarista. Lisäksi haasteena on pitää tukit suorassa noston aikana ja siirrettäessä niitä paikasta toiseen. Tukkien suorassa pysyminen eli oikeeneminen on monesti ehdotonta, jotta tukit saadaan lastattua tai purettua järjestelmällisesti pinoon. Käyttäjältä vaaditaankin hyvää puukahmarin käyttötaitoa, jotta puukahmarilla nostetaan sille sopiva määrä tukkeja ja että ne pysyvät suorassa. [4.]

Edellä mainittujen haasteiden takia, etenkin tip-to-tip-tyyppisissä puukahmareissa, puukahmareiden leukoja on kehitetty, jotta tukit pysyisivät varmemmin puukahmarissa. Esimerkiksi yksinkertaisen puukahmarin leukojen muotoilulla voidaan saavuttaa varmempi ote tukeista. Kahmarin leuat muotoillaan siten, että ne ovat alhaalta koverat ja ylhäältä kuperat. Tämän muotoilun ansiosta tukit kiillautuvat paremmin puukahmarin leukojen väliin ja ne pysyvät varmemmin leukojen välissä noston aikana. Monimutkaisesti muotoiluilla leuoilla varustetun puukahmarin huono puoli on, että leuat eivät avaudu tarpeeksi, jotta sillä voitaisiin nostaa suuria määriä tukkeja. Tämän takia on kehitetty myös puukahmareita, joissa leuat on kiinnitetty monimutkaisella tavalla, jotta ne avautuisivat enemmän.



Ratkaisu on kuitenkin kalliimpi ja vaatii enemmän huoltoa. Lisäksi molemmissa tapauksissa tukkien pysyminen leukojen välissä perustuu ainoastaan kiilautumiseen. [1.]

Edellä mainittujen ongelmien takia on kehitetty puukahmareita, joilla kyetään käsittelemään vaihtuvia määriä tukkeja. Monet puukahmarit, joiden leukojen päät kohtaavat puristuksessa (tip-to-tip), sisältävät yhden tai useampia lukitusketjuja (kuva 2) tai puristinvarret (kuva 3). Näiden lukitusketjujen tai puristinvarsien tarkoituksena on painattaa tukkikuormaa siten, että vajaata tukkikuormaa nostettaessa tukit saadaan pysymään nipussa. Puristinvarsien tai lukitusketjujen ansiosta tukkeja voidaan nostaa vajaasta kuormasta aina täyteen kuormaan asti tukkien putoamatta ja kääntymättä. [4.]



Kuva 3. Volvon valmistama puukahmari puristinvarsilla. [5.]

## 2.2 Markkinoilla olevia valmistajia

Puukahmareita valmistetaan ympäri maailman metsäteollisuuden tarpeisiin. Metsäteollisuus on iso osa Suomen teollisuutta, joten on olemassa useita kotimaisia puukahmareiden valmistajia. Puukahmareiden valmistajia löytyy myös naapurimaistamme, kuten Ruotsista ja Virossa. Puukahmariratkaisut rajautuvat suurimmilta osin tip-to-tip- tai by-pass-tyyppisiin puukahmareihin. Puukahmareita voidaan käyttää monenlaisissa työkoneissa, kuten esimerkiksi kaivinkoneissa, materiaalinkäsittelykoneissa, pyöräkuormaajissa sekä traktoreissa. Työkone ja työskentelypaikka vaikuttavat puukahmarin kokoon ja malliin.



Taulukossa 1 on listattu muutamia suomalaisia sekä Suomen naapurimaissa toimivia puukahmareiden valmistajia.

Taulukko 1. Puukahmareiden valmistajia [5.] [6.] [7.] [8.] [9.] [10.] [11.]

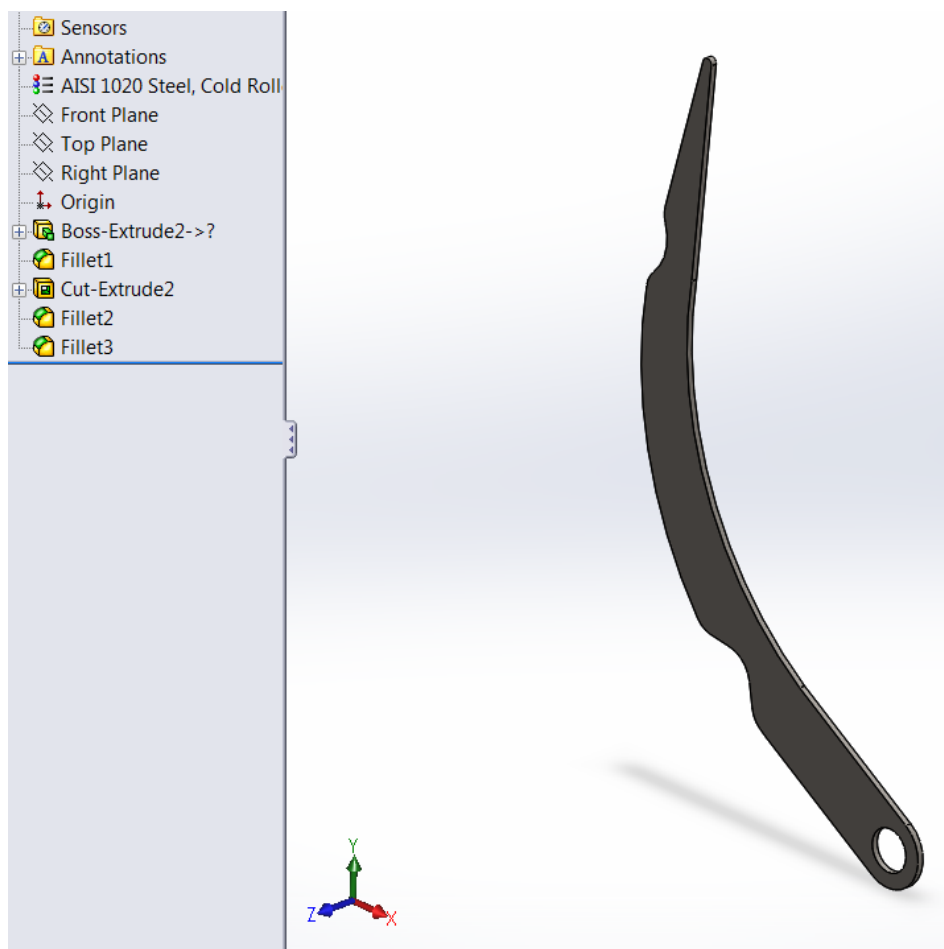
Yritys	Valmistus- maa	Kapasiteetti / avauma	Työkone
Piko Team Oy	Suomi	1020 tai 1350 mm	Traktori
Vemimet Ky	Suomi	650 mm	Kaivinkone
Mantsinen Oy	Suomi	0,8 - 3,6 m <sup>2</sup>	Materiaalinkäsittelykoneet satamissa
Kesla Oy	Suomi	0,18 - 0,5 m <sup>2</sup>	Metsäkoneet, kaivinkoneet ja traktorit
Intermercato	Ruotsi	0,08 - 1,2 m <sup>2</sup>	Metsäkoneet, kaivinkoneet ja puutavara-autot
Volvo	Ruotsi	Vaihtelee pyörä- kuormaajan koon mukaan	Pyöräkuormaaja
Forester	Viro	0,12 - 0,32 m <sup>2</sup>	Traktori

### 3 SOLIDWORKS

SolidWorksin omistaa ranskalainen Dassault Systemès. SolidWorks on suosittu 3D-suunnitteluohjelma, jota käytetään ympäri maailman, koska se on monipuolinen ja helppokäyttöinen. SolidWorksin avulla luodaan 3D-tilavuusmalleja (solid models) yksittäisistä osista tai yhdistelemällä osia voidaan luoda osista koostuvia kokoonpanoja. SolidWorks voi sisältää myös osien ja kokoonpanojen simulointiin liittyviä työkaluja, joiden avulla voidaan tutkia esimerkiksi liikettä, kestävyyttä ja virtauksia. Kaiken tämän ja monien muiden ominaisuuksien lisäksi SolidWorksin avulla voidaan luoda suunnitelmista 2D-piirustukset, joiden perusteella osat tai kokoonpanot voidaan valmistaa. SolidWorksillä luodut osatiedostot, kokoonpanotiedostot sekä piirustustiedostot on synkronoitu keskenään, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että suunnitellut muutokset päivittyvät kaikkien tiedostojen kesken automaattisesti. Synkronointi helpottaa ja nopeuttaa suunnittelua, mutta ennen kaikkea synkronointi vähentää virheitä suunnittelussa, koska muutokset päivittyvät välittömästi, eikä muutoksia tarvitse tehdä jokaiseen tiedostoon erikseen. [12.] [13, s. 11.] [14.]

#### 3.1 Osatiedosto

Ratkaisujen suunnittelu alkaa yleensä suunnittelemalla yksittäisiä osatiedostoja eli komponentteja. SolidWorksin avulla 2D-piirteistä (sketch) luodaan 3D-malli erilaisia työkaluja käyttäen. Syntyvää 3D-mallia voidaan tarkastella, aivan kuten se tulee olemaan valmistettuna. Tämä auttaa hahmottamaan, millainen osa on todellisuudessa ja kuinka sen valmistaminen on mahdollista. SolidWorks-malli osatiedostosta koostuu 3D-geometriasta, joka määrittelee osan pinnat, reunat ja sivut. Valmis osa voi koostua yhdestä tai useammasta piirteestä, joiden luomiseksi käytetään erilaisia työkaluja. Piirteitä ovat esimerkiksi pursotukset, pyöristykset ja reiät. Kuvassa 4 on esitetty osatiedosto. [13, s. 11.] [15.]



Kuva 4. Useista piirteistä koostuva osatiedosto

### 3.2 Kokoonpanotiedosto

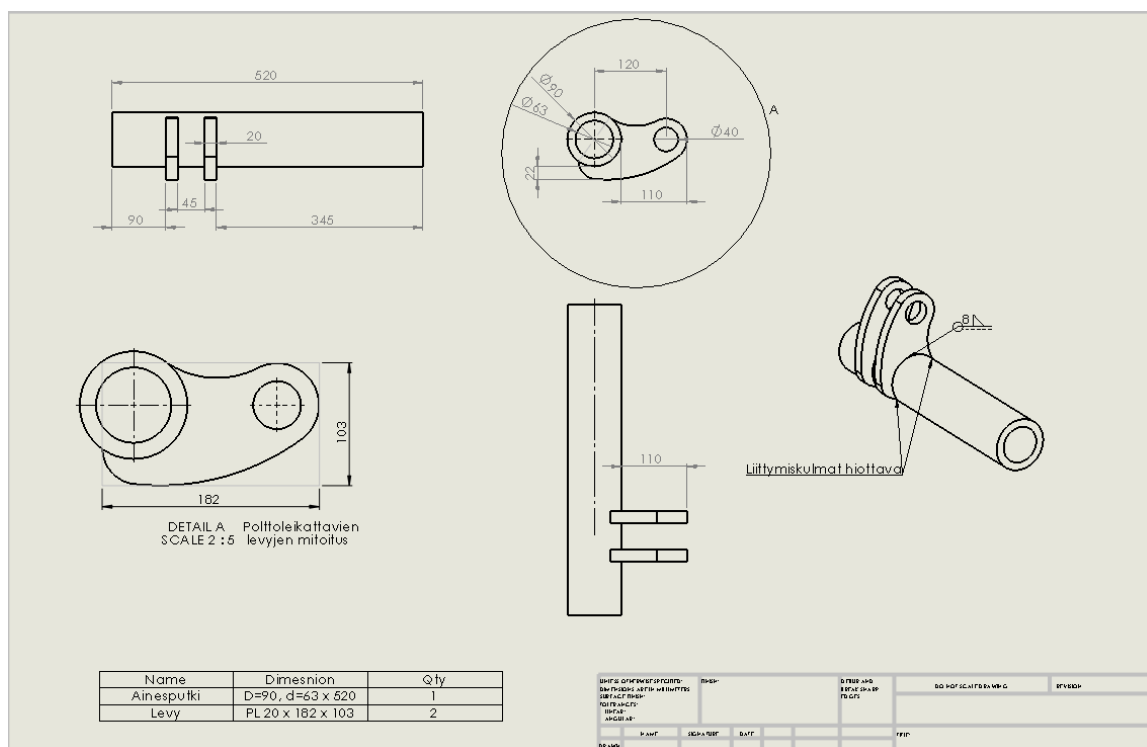
Kokoonpanotiedostossa yksittäiset osatiedostot yhdistetään kokoonpanoksi. Kokoonpano voi koostua monista eri osista, mutta kokoonpanoon voi tuoda myös toisia kokoonpanoja, joita kutsutaan alikokoonpanoiksi. Kokoonpanon avulla tarkastellaan sopivatko osat yhteen keskenään, miltä valmis ratkaisu tulee näyttämään ja liikkuvatko osat oikein toistensa suhteen. Kokoonpanon yksi tärkeimmistä työkaluista on "Mate"-työkalu, jonka avulla voidaan määrittää osien liikkuminen tai liikkumattomuus toistensa suhteen. Esimerkiksi kuvassa 5 esitetyn puukahmarin puristinvarsien levyt ja muut osat saatiin määritettyä oikeisiin kohtiin "Mate"-työkalun avulla. [13, s. 11.] [15.]



Kuva 5. Osista koostuva kokoonpano

### 3.3 Piirustukset

Piirustukset ovat osatiedostoista tai kokoonpanotiedostoista luotuja 2D-piirustuksia. Piirustukset sisältävät riittävän määrän projektioita, joiden avulla voidaan hahmottaa, millainen osa tai kokoonpano on. Piirustukset ovat yleensä viimeinen vaihe suunnittelutyössä, joiden avulla tuotteen valmistaminen on mahdollista. Kuvassa 6 on esitetty puukahmariin tulevan osan piirustus. Piirustukset voivat sisältää projektioden lisäksi materiaalilistan, mittoja, merkintöjä ja ohjeistuksia, jotta osien tai kokoonpanojen valmistaminen tapahtuu oikein. [16.]



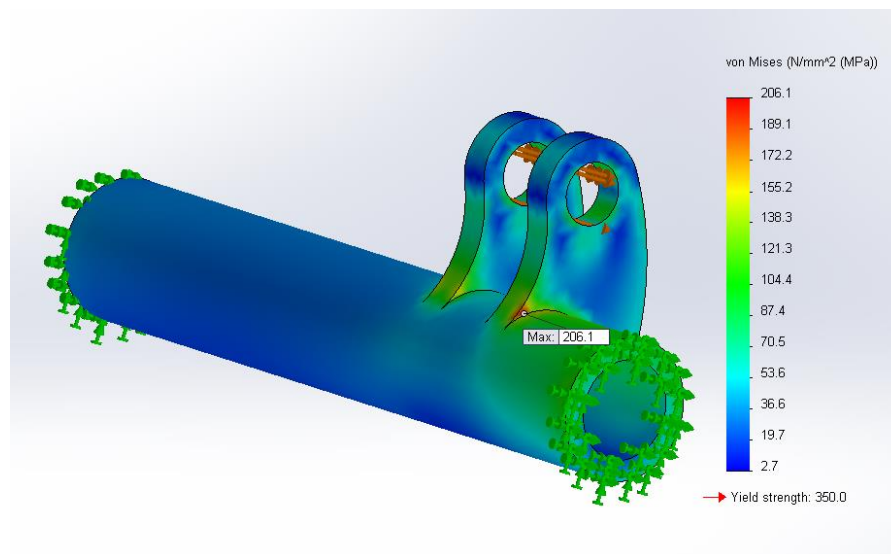
Kuva 6. SolidWorksillä luotu piirustus

### 3.4 Simulaatio

SolidWorks-simulaation avulla käyttäjä voi nopeasti ja tarkasti simuloida sekä analysoida mallin kestävyyttä ja muita sen ominaisuuksia. SolidWorks-simulaation avulla voidaan simuloida ja tutkia mallista muun muassa seuraavia asioita: lujuusanalyysi, väsymisanalyysi, liikeanalyysi, kestävä suunnittelu, lämpöanalyysi, värähtelyanalyysi, nesteiden virtausanalyysi, LVI-analyysi, rakenteiden optimointi ja elektroniikkalaitteiden jäähdytys. Opinnäytetyön kannalta kaksi tärkeintä analyysiä ovat lujuusanalyysi sekä väsymisanalyysi. [17.]

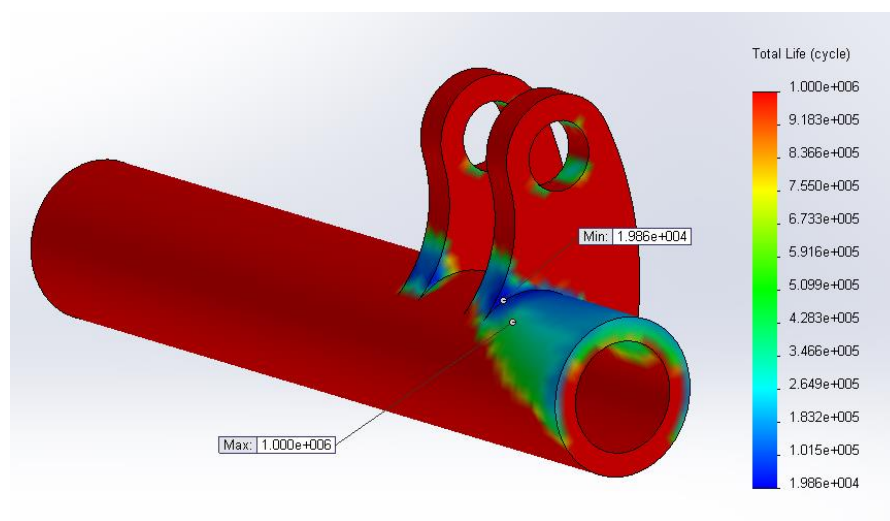
Lujuusanalyysin avulla käyttäjä voi tutkia, kuinka suuria jännityksiä mallin rakenteisiin syntyy sitä rasitettaessa. Lujuusanalyysi tapahtuu SolidWorksissä elementtimenetelmällä (Finite element analysis). Lujuusanalyysin laskentaa varten malli jaetaan elementteihin, mikä tapahtuu SolidWorksissä automaattisesti, mutta elementteihin jakamisen asetuksia voi säätää tarpeen mukaan. Lujuusanalyysia varten malliin on määritettävä lisäksi kuormittavat voimat, mallin materiaali ja kohdat, joista malli on tuettu analyysin aikana. Lujuusanalyysin tuloksena saadaan mallissa syntyvät jännitykset, joiden perusteella voidaan arvi-

oida materiaalien kestoja. Kuvassa 7 näkyy esimerkki lujuusanalyysin tuloksista. Lujuusanalyysin tuloksia on tärkeä verrata materiaalien myötö- ja murtorajoihin, jolloin oikean materiaalin valinta on perusteellista. [18.]



Kuva 7. Esimerkki lujuusanalyysistä

Väsymisanalyysi hyödyntää muiden simulaatioiden ja analyysien tuloksia. Väsymisanalyysi hyödyntää esimerkiksi staattisen lujuusanalyysin ja/tai lämpöanalyysin tuloksia. Väsymisanalyysissä simuloidaan, montako kertaa malli kestää vaihtelevan rasituksen. Vaihteleva rasitus voi olla vaihtokuormitusta, tykytyskuormitusta tai sekakuormitusta. Väsymisanalyysin tulokset ovat tärkeitä arvioidessa valmistettavan tuotteen elinkaarta ja huoltoväliä. Kuvassa 8 on esitetty väsymisanalyysin tulokset kuvan 7 lujuusanalyysin perusteella. [19.]



Kuva 8. Esimerkki väsymisanalyysistä



## 4 TERÄS MATERIAALINA

### 4.1 Teräksen valmistus

Teräs on materiaali, joka koostuu pääosin raudasta. Teräksen tärkein seosaine on hiili, mutta se voi sisältää myös muita seosaineita. Teräksen määrittelee sen matala hiilipitoisuus. Teräs sisältää korkeintaan 2 % hiiltä. Rauta, johon on seostuneena hiiltä enemmän kuin 2 %, luokitellaan valuraudaksi. Teräksen valmistus aloitetaan louhimalla rautamalmin. Rautamalmissa rauta esiintyy yleensä rautaoksideina. Rautamalmin louhinnan jälkeen rautamalmi pelkistetään masuunissa kaksin ja kalkin kanssa. Kun rautamalmia, koksia ja kalkkia sulatetaan masuunissa suurissa lämpötiloissa, saadaan lopputuotteena raakarautaa. Raakarautaa voidaan valaa suoraan valuraudaksi, mutta teräksen valmistusta varten raakarautaa tulee jatkojalostaa. [20, s. 5, s. 21.]

Terästehtaalla masuunissa tuotettu raakarautaa jatkojalostetaan teräkseksi. Jotta raakaudan hiilipitoisuutta saadaan laskettua, käsitellään raakarautaa LD-konverterissa eli teräsuunissa. Teräsuunissa sulaan raakarautaan puhalletaan happea, jolloin ylimääräinen hiili poistuu raakaraudasta häkänä. Syntyvää tuotetta voidaan kutsua seostamattomaksi teräkseksi, kun sen hiilipitoisuus on 0,1–1,3 %. Kun riittävän alhainen hiilipitoisuus on saavutettu, voidaan sula teräs jalostaa edelleen seostetuksi teräkseksi seostamalla terässula halutuilla seosaineilla. Tyypillisiä teräkseen lisättäviä seosaineita ovat pii (Si), mangaani (Mn), kromi (Cr), nikkeli (Ni), molybdeeni (Mo), wolframi (W), koboltti (Co) ja vanaadiini (V). Seosaineilla pyritään muuttamaan teräksen ominaisuuksia. [20, s. 5–7, s. 21.]

Raakarautaa jalostetaan teräkseksi puhaltamalla sulaan raakarautaan happea, jotta liiallinen hiili poistuisi teräksestä häkänä. Hapen puhaltamisen seurauksena sulaan teräksen jää häkäkaasua ja happea, jotka aiheuttavat teräksen jähmettymisen aikana huokosia teräkseen. Kaasunkehitys häiritsee jähmettymistä ja syntyvä teräs on hitsauskelvotonta, joten ylimääräiset kaasut tulee poistaa terässulasta ennen sen jähmettymistä. Syntyvät kaasut terässulassa voidaan poistaa jälkikäsitteilyllä vakuuissa. Hapen poistamiseksi terässulaan voidaan myös lisätä aineita, joiden kanssa happi muodostaa terässulaan kuonaa. Tätä jalostamista kutsutaan deoksinoinniksi. Hapen poistamiseksi tavallisia lisäaineita ovat pii (Si) ja alumiini (Al). Ylimääräisten kaasujen poistamisella saadaan aikaa tiivistettyä terästä, joka on hyvin hitsattavaa. Valmis teräs valetaan teräsaihioiksi, joista voidaan valmistaa erilaisia terästuotteita. [20, s. 5–7.]

## 4.2 Teräksen ominaisuudet

Teräket luokitellaan käyttötarkoituksen mukaan kolmeen eri ryhmään. Nämä kolme ryhmää ovat rakenneteräket, työkaluteräket ja ruostumattomat teräket. Rakenneteräksille tyypillistä on niiden hyvä lujuus, iskutkeys sekä hitsattavuus. Työkaluteräket eroavat rakenneteräksistä olemalla kulutuskestävämpiä ja kovempia kuin rakenneteräket. Ruostumattomat teräket kestävät nimensä mukaan hyvin erilaisia sääolosuhteita ilman korroosiota. Erilaiset teräslaadut saadaan aikaan seostamalla terästä eri seosaineilla, mutta teräksen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös lämpökäsittelyllä ja kylmätyöstöllä. Haluttuja teräksen ominaisuuksia ovat lujuus, sitkeys, muokattavuus, hitsattavuus, kulutuskestävyys, karkaistavuus sekä korroosionkestävyys. [20, s. 21–23.]

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella puukahmariin uusia osia ja niiden valmistukseen tullaan käyttämään rakenneterästä sen hyvien ominaisuuksien takia. Rakenneteräs on tyypillinen teräslaatu, ja sitä käytetään paljon konepajoissa. Rakenneterästä käytetään kantavien rakenteiden sekä koneenosien valmistukseen. Rakenneteräs on hyvä osien valmistusmateriaali, koska se on lujaa, sitkeää ja helposti hitsattavaa. Lisäksi rakenneteräs on kustannustehokas materiaali hintansa ja sen laajojen työstömenetelmien valinnan takia. Markkinoilla on erilaisia rakenneteräksiä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Rakenneteräket voidaan luokitella viiteen eri luokkaan, jotka ovat hiiliteräket, hiilimanganiteräket, mikroseostetut hienoraeteräket, nuorrutusteräket sekä booriteräket. Tyypillinen rakenneteräslaatu, jota käytetään konepajoilla, on mikroseostettu hienorateräs. [20, s. 24.] [21, s. 11.]

Yrityksen konepajalla voidaan valmistaa tuotteita, joilta vaaditaan erilaisten laatustandardien täyttymistä. Laatustandardit voivat vaatia ainestodistukset tuotteeseen käytetyistä materiaaleista. Tilattaessa esimerkiksi rakenneterästä yritys voi vaatia tilatusta teräksestä ainestodistuksen. Ainestodistuksesta voidaan nähdä materiaalin valmistuserä sekä sille suoritettut aineenkoetuskokeiden tulokset. Ainestodistuksista voi nähdä materiaalin koostumuksen, valmistuserän, lujuuden, hitsattavuuden ja toleranssit riippuen ainestodistuksesta ja vaadittavasta laatustandardista.

Terästä valmistettaessa laatustandardien vaatimat ainestodistukset on otettu huomioon. Teräksen tuotantoeristä otetaan koekappaleita, joiden ominaisuuksia testataan erilaisilla aineenkoetuskokeilla. Metallisten aineiden aineenkoetuskokeita voivat olla vetokoe, iskutkeys-koe, väsymiskoe, kovuuskoe, murtositkeys-koe, virumiskoe ja kulumiskoe. Rakenneteräksille tyypillinen aineenkoetuskoe on vetokoe. Vetokokeen tulokset eräälle putki-

palkille on esitetty kuvassa 9. Vetokoe antaa tarkan tiedon materiaalin staattisesta lujuudesta. Vetokokeen tuloksena saadaan tietoon materiaalin myötöraja, murtoraja sekä murtovenymä. Vetokokeessa standardien määrittelemän mukainen sauva tai ote tuote-erästä altistetaan vedolle ja vetovoiman kasvaessa materiaali venyy. Ennen sauvan katkeamista teräksillä tapahtuu venymistä ilman pysyvää muodonmuutosta eli kimmoista venymää. Kun materiaali ylittää myötörajaa, venyminen on plastista eli venymästä seuraa pysyvä muodonmuutos. Vetovoimaa kasvatetaan, kunnes sauva katkeaa. Vetokokeen aikana vetovoima ja venymä mitataan ja tuloksista laaditaan jännitys-venymäkuvaaja. Kuvaajasta voidaan määrittää materiaalin myötö- ja murtorajat. Materiaalin murtoraja saadaan lasketua sauvan katkeamisen jälkeen yhtälöstä

$$R_m = \frac{F_b}{A}, \quad (1)$$

missä  $R_m$  on murtoraja,  $F_b$  on vetovoima katkeamishetkellä ja  $A$  vedettävän sauvan poikkipinta-ala ennen vetokoetta [20, s. 30]. Ainestodistukset pitävät sisällään yleensä materiaalin myötö- ja murtorajat sekä murtovenymän, joiden avulla oikeanlaisen materiaalin valinta käyttökohteeseen on mahdollista. Ainestodistus voi myös ilmaista materiaalin jännityksen kun materiaali on venynyt 0,2 % alkuperäisestä mitastaan. 0,2-rajaa käytetään yleensä materiaaleille, joilla ei ole selvää myötörajaa. Tällaisia materiaaleja ovat muun muassa alumiini sekä ruostumaton teräs. [20, s. 29–32.] [Liite 1 2/3] [21, s. 15–34.]

Item	Test Number	Tensile Test				Impact Test					
		P2	Rp0.2	Rm	A	P3	oC	1	2	3	AVG
			N/mm2	N/mm2	%			J	J	J	J
20	9794180	13	503	547	22						
20	9794190	13	515	555	21						

Kuva 9. Erään putkipalkin vetokokeen tulokset. [Liite 1 3/3]

### 4.3 Hitsattavuus

Hitsattavat rakenneteräkset voidaan jakaa viiteen ryhmään niiden koostumuksen ja lujuuden mukaan. Hitsattavien rakenneterästen ryhmät ovat hiiliteräs, hiilimanganiteräs, mikroseostettu teräs, nuorrutusteräs ja erikoistarkoituksiin kehitetty rakenneteräs. Teräksen alhainen hiilipitoisuus parantaa hitsattavuutta, mutta toisaalta vähähiilinen teräs ei ole yhtä lujaa kuin hieman enemmän hiiltä sisältävä teräs. Hiiliteräs on vähähiilinen teräs, jonka hitsattavuus on hyvä. Hiiliteräksen lujuus ei kuitenkaan ole kovin hyvä ja hiiliteräksen myötölujuus on korkeintaan 260 Mpa. Hiilimanganiteräs sisältää enemmän mangaania kuin hiiliteräs, joka pienentää teräksen raekokoa. Pienempi raekoko nostaa hiilimanganiteräksen myötölujuutta, mutta se on edelleen hyvin hitsattavaa. Mikroseostetut teräkset eli HS-teräkset ovat seostettuja hiili- ja hiilimanganiteräksiä. Mikroseostettuihin hienorateräksiin seostetaan pieninä määrinä haluamien ominaisuuksien saavuttamiseksi esimerkiksi alumiinia, vanadiinia, titaania ja niobia. Seostamisen ansiosta teräs on lujaa ja sitkeää, mutta oikea seostaminen ei heikennä hitsattavuutta. [20, s. 74–75.]

Edellä mainittujen rakenneteräslaatuojen ominaisuudet on saavutettu pääasiallisesti seostamalla, mutta ominaisuuksia voidaan saavuttaa myös muilla keinoin. Nuorrutusteräkset ovat erittäin lujia hitsattavia rakenneteräksiä, joiden lujuus on saatu aikaan nuoruttamalla eli lämpökäsittelmällä. Nuorrutusteräkset sisältävät yleensä vielä vähemmän hiiltä kuin hiili- ja hiilimanganiteräkset, mutta hiilen tuoma lujuus on korvattu seostamalla nuorrutusteräkset esimerkiksi molybdeenillä ja boorilla. Nuorrutusteräkset ovat hienorakeisia, jonka takia niiden myötölujuus voi olla jopa 1000Mpa. [20, s. 75–76.]

Erikoistarkoituksiin kehitetyt rakenneteräkset ovat hitsattavia rakenneteräksiä, joiden säänkestävyyttä on parannettu seostamalla niihin pieniä määriä kuparia, kromia, fosforia ja piitä. Seosaineet muodostavat ajan saatossa teräksen pintaan suojaavan oksidikerroksen ruostumista vastaan. Erikoistarkoituksiin kehitetyt rakenneteräkset ovat hyvin hitsattavia ja niiden lujuus on hyvä. [20, s. 76.]

Teräksen seosaineilla on suuri merkitys rakenneteräksen ominaisuuksiin. Erilaiset seosaineet vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin ja hitsattavuuteen. Rakenneterästen seostamisessa keskitytään kehittämään erityisesti rakenneteräksen lujuutta, sitkeyttä sekä hitsattavuutta, koska ne ovat rakenneteräksen tärkeimmät ominaisuudet. Seostamisella on suuri vaikutus näihin kolmeen rakenneteräksen ominaisuuteen. Rakenneteräksen hitsattavuus on sitä parempi mitä vapaammin hitsausmenetelmä voidaan valita ja mitä vähemmän esivalmisteluita ja jälkikäsittelyitä joudutaan tekemään. Rakenneteräksen hitsattavuuden arviointia varten on kehitetty hiiliekvivalenttikaava, jonka avulla voidaan

laskea tunnettujen seosainepitoisuuksien perusteella, kuinka hyvin hitsattavaa rakenneteräs on. Hiiliekvivalentti voidaan laskea yhtälöstä

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni+Cu}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5}, \quad (2)$$

missä CE on hiiliekvivalentti, C on hiilipitoisuus, Mn on mangaanipitoisuus, Ni on nikkelpitoisuus, Cu on kuparipitoisuus, Cr on kromipitoisuus, Mo on molybdeenipitoisuus ja V on vanadiinipitoisuus [20, s. 104]. Hiiliekvivalentti ottaa huomioon alkuaineet, jotka vaikuttavat rakenneteräksen karkenevuuteen. Hiiliekvivalentti pätee vain hiili-, hiilimangaani- ja mikroseostetuille rakenneteräksille, joiden hiilipitoisuus on  $\geq 0,16$  %. Tulos on desimaaliluku, joka kuvaa rakenneteräksen hitsattavuutta. Rakenneteräs soveltuu hitsattavaksi huoneenlämmössä, mikäli sen hiiliekvivalentti on alle 0,40. Lasketaan seuraavaksi esimerkkinä erään putkipalkin hiiliekvivalentti, jonka valmistusmateriaali on S355J2H. Tunnetut alkuainepitoisuudet on saatu aineodistuksesta ja ne sijoitetaan kaavaan prosentteina. Sijoitetaan tunnetut alkuainepitoisuudet yhtälöön (2)

$$CE = 0,09 + \frac{1,46}{6} + \frac{0,04+0,027}{15} + \frac{0,05+0,01+0,007}{5} = 0,3512 \approx 0,35$$

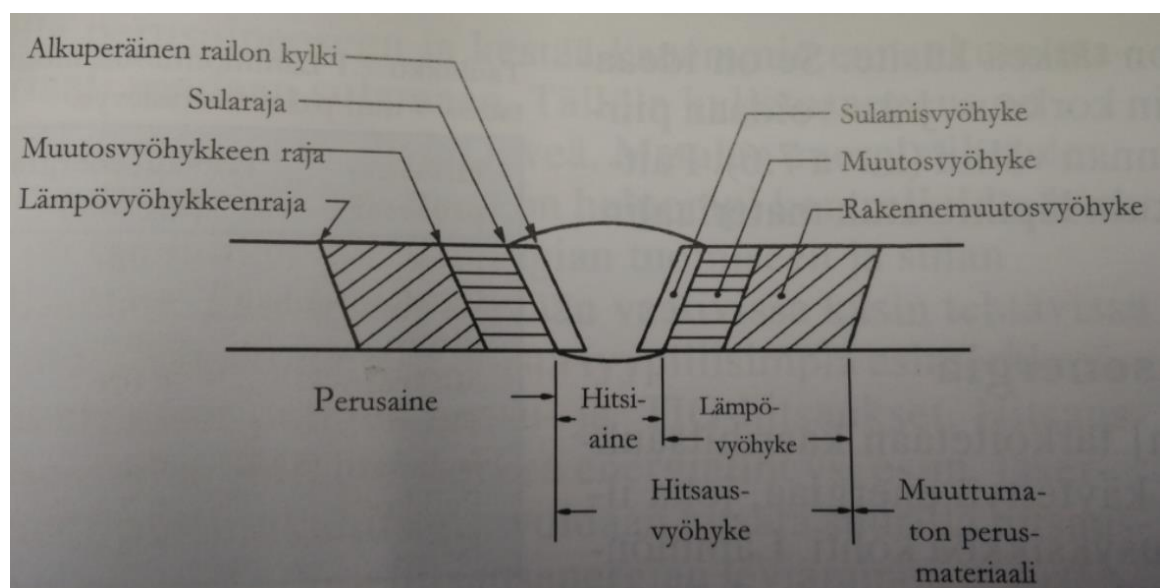
Tuloksesta voidaan nähdä, että putkipalkki soveltuu hitsattavaksi huoneenlämmössä, koska sen hiiliekvivalentti on alle 0,40. [20, s. 103–104.] [Liite 1 3/3]

## 5 HITSAUS

Hitsaaminen on kahden perusaineen liittämistä yhteen eli liitoshitsaamista tai perusaineen päällystämistä hitsiaineella eli päälle hitsausta. Liitoshitsauksella tarkoitetaan kahden tai useamman kappaleen liittämistä toisiinsa jollain hitsausmuodolla. Päälle hitsauksessa perusainetta päällystetään hitsiaineella, jota käytetään yleisesti kulutuskestävyyden lisäämiseksi. Yleisimmät kaarihitsausmuodot konepajoilla ovat MAG-, MIG-, puikko-, ja TIG-hitsaus. Hitsauksessa liitos tai päällystyskohtaan tuodaan paljon lämpöä, jolloin perusaine sekä hitsausaine sulavat hetkellisesti korkeissa lämpötiloissa ja jähmettyvät muodostaen hitsausliitoksen. [20, s. 90–92.]

### 5.1 Hitsausliitos

Hitsaustapahtuma on erittäin nopea tapahtuma, jonka aikana perusaine sekä hitsiaine saatetaan sulaan tilaan. Nopean hitsaustapahtuman aikana ehtii kuitenkin tapahtua useita metallurgisia asioita. Hitsauksen aikana perusaine sulaa ja jähmettyy ja mahdollisen suo- jakaasun ja sulan sekä kuonan ja metallin välillä tapahtuu reaktioita. Hitsausliitos koostuu hitsiaineesta sekä hitsiaineen välittömässä läheisyydessä olevasta perusmateriaalista, jota kutsutaan myös muutosvyöhykkeeksi (kuva10). Hitsausliitokseen lasketaan mukaan myös hitsiaineen välittömässä läheisyydessä oleva perusaine, koska suuri lämmöntuonti hitsaustapahtumassa vaikuttaa siihen. [20, s. 90–92.]



Kuva 10. Hitsausliitoksen vyöhykkeet [20, s. 91.]

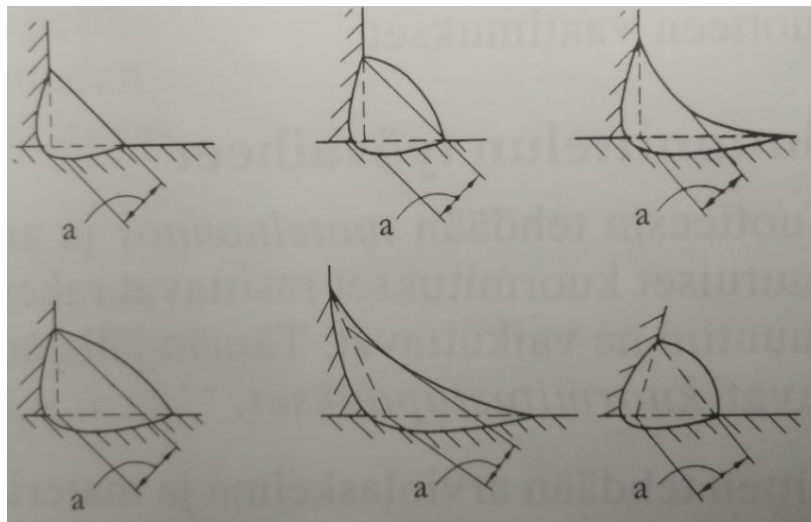


## 5.2 Hitsausliitoksen suunnittelu


















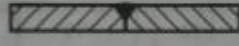





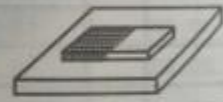











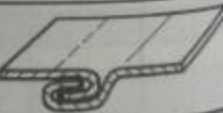



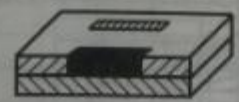
Hitsausliitoksen suunnitteluun vaikuttavat hitsattavien kappaleiden materiaalit ja missä asennossa ne liitetään toisiinsa sekä hitsaustapahtuma. Hitsausliitokseen vaikuttavat olennaisesti myös materiaaleille sekä hitsausliitokselle kohdistuvat kuormitukset. Hitsausliitos voi olla pienahitsi tai päittäishitsi. Erilaiset perushitsit on esitetty kuvassa 12. Molemmissa hitseissä hitsin a-mitta on tärkeä käsite, joka tulee huomioida suunniteltaessa hitsausliitoksia. A-mitta pienahitseissä on hitsisauman sisään piirretyn suurimman mahdollisen tasakylkisen kolmion korkeus, joka mitataan liitospintojen ja hitsin pinnan väliltä. A-mitan mittaus näkyy kuvassa 11. Päittäishitseissä a-mitta on yhtä suuri kuin läpi hitsatun materiaalin paksuus. A-mitan määrittämiseksi tulee ottaa huomioon staattiset sekä väsyttävät kuormitukset, joiden perusteella voidaan laskea vaadittava a-mitta. Liian suuresta a-mitasta ei ole tuotteen kannalta hyötyä ja se lisää tuotantokustannuksia. A-mittojen tulee olla välillä 3–15 mm. Suurempiakin a-mittoja voidaan käyttää, mutta niiden lujuus tulee testata kokeellisesti. Suuria a-mittoja ei voida saavuttaa yhdellä hitsipalolla, vaan a-mitaltaan suuret hitsausliitokset toteutetaan monipalkohitsinä. A-mitan määrittämiseksi on olemassa suunnittelua helpottava nyrkkisääntö, joka tiivistyy yhtälössä

$$a \geq 0,5t_{\min}, \quad (3)$$

missä a on a-mitta ja  $t_{\min}$  on liitettävien materiaalien pienin ainevahvuus. [20, s. 137.]



Kuva 11. A-mitan nimellinen korkeus erilaissa pienahitseissä [20, s. 136.]

Perusmerkki	Liitoksen kuva (poikkileikkaus)	Perusmerkki	Liitoksen kuva (poikkileikkaus)
1. Laippahitsi 		12. Pistehitsi 	
2. I-hitsi 		13. Saumakehitys 	
3. V-hitsi 		14. Jyrkkäkylkinen V-hitsi 	
4. Puoli-V-hitsi 		15. Jyrkkäkylkinen V-hitsi 	
5. V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn V-railoon 		16. Reunahitsi 	
6. Puoli-V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn puoli V-railoon 		17. Päälehitsaus 	
7. U-hitsi 		18. Pintaliitos 	
8. J-hitsi 		19. Viisto päittäinliitos 	
9. Juurihitsi 		20. Hakaliitos 	
10. Plenahitsi 			
11. Tulppahitsi 			

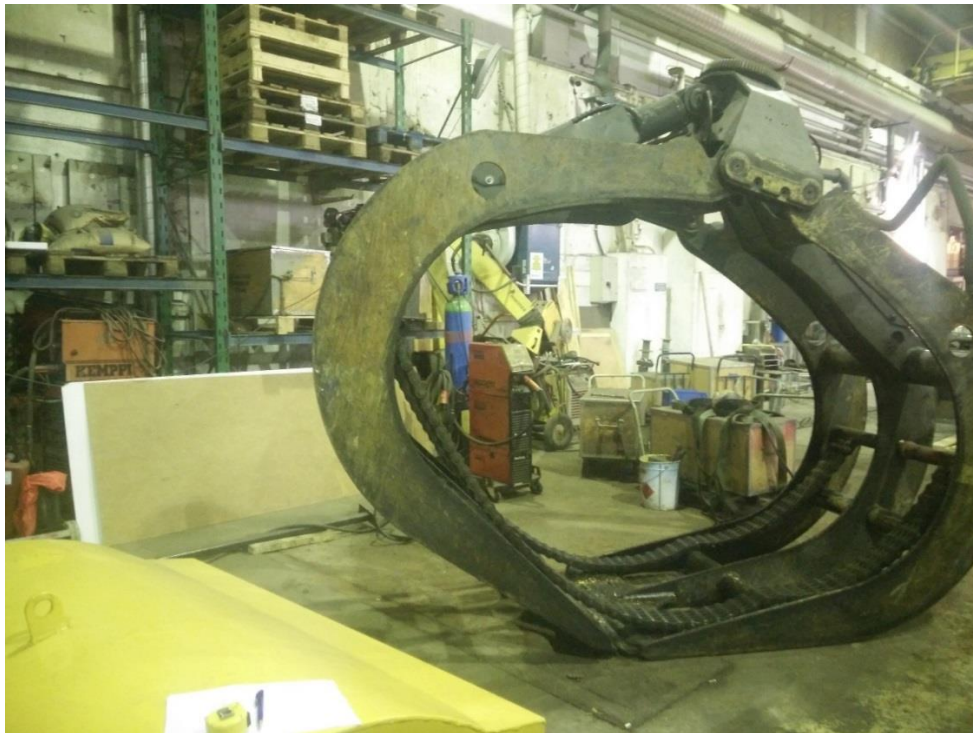
Kuva 12. Perushitsaukset merkintöineen. [22, s. 544.]

## 6 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön kohteena on Volvon valmistama pyöräkoneisiin tarkoitettu suhteellisen suurikokoinen puukahmari. Puukahmarin kapasiteetti on 3,8 m<sup>2</sup>. Puukahmari oli varustettu alun perin kahdella lukitusketjulla, joiden tehtävä on varmistaa tukkien pysyminen puukahmarin leukojen välissä. Opinnäytetyön tavoitteena on mallintaa lukitusketjujen tilalle hydraulikkasyylintereillä toimivat puristinvarret ja piirtää muutoksista ja tulevista osista valmistuskuvat. Valmistuskuvien piirtämisen lisäksi ratkaisun kestoa tutkittiin SolidWorks-simulaation avulla.

### 6.1 Lähtökohdat

Työ alkoi keskustelulla asiakkaan kanssa. Asiakkaan kanssa käytiin läpi puukahmarin epäkohtia ja parannusehdotuksia. Keskustelu asiakkaan kanssa sujui luontevasti, koska puukahmari oli toimitettu aiemmin Teräsasennus Mankinen Oy:n konepajalle. Asiakkaan oli siis helppo näyttää, mitkä asiat puukahmarissa olivat muutoksen tarpeessa. Kuvassa 13 on esitetty Volvon valmistama puukahmari lähtötilanteessa, johon myöhemmin suunniteltiin muutoksia.



Kuva 13. Volvon valmistama tip-to-tip-tyyppinen puukahmari lukitusketjuilla.

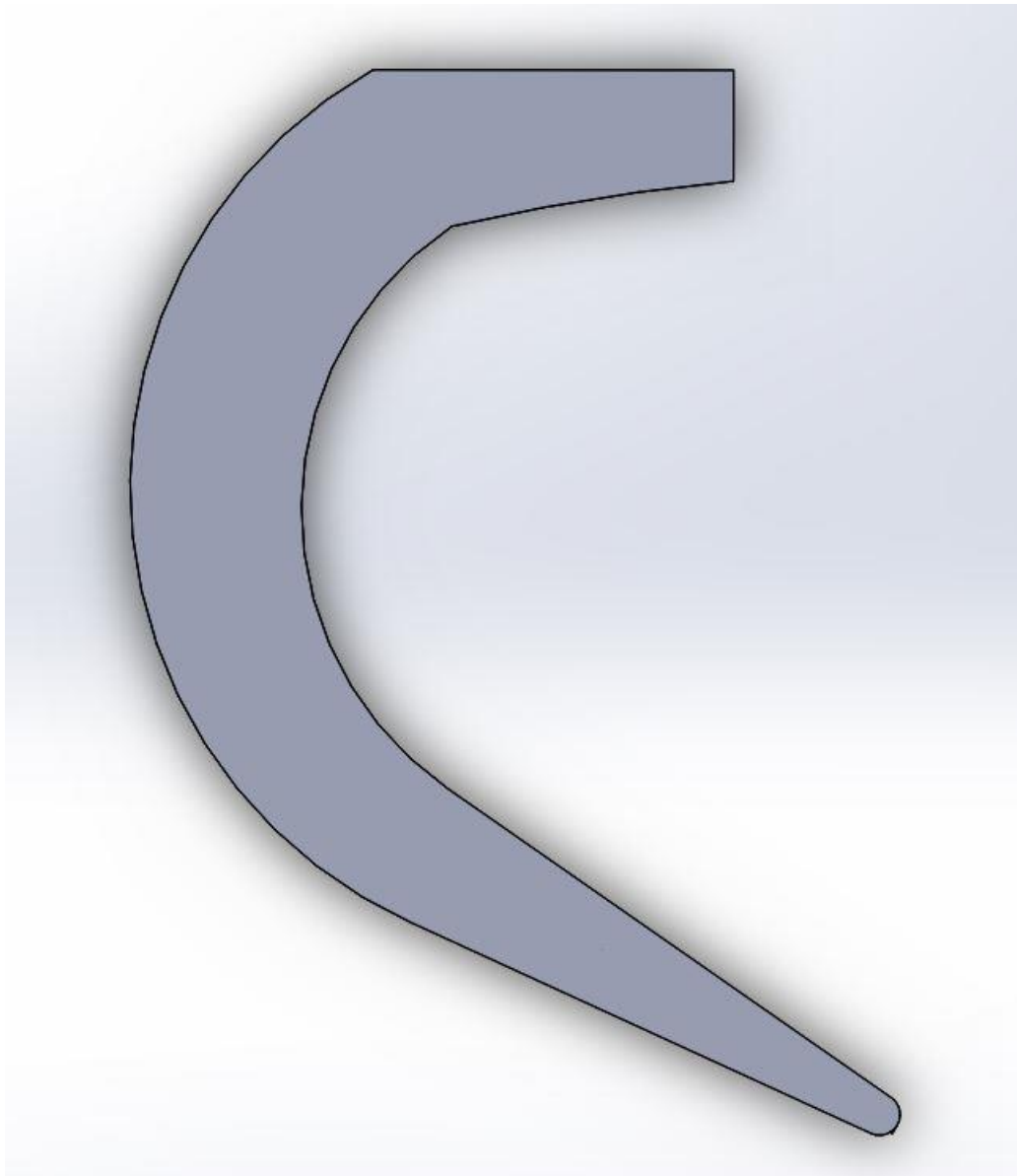
Asiakkaan puukahmari on tip-to-tip-tyyppinen, eli sen leukojen kärjet kohtaavat puristuksen aikana. Tip-to-tip-tyyppisillä puukahmareilla voidaan käsitellä suuria määriä tukkeja kerrallaan, mutta vajaat tukkikuormat tuottavat ongelmia. Nostettaessa liian pientä tukkikuormaa puut saattavat pudota puukahmarin leukojen välistä tai ne eivät oikene eli pysy suorassa. Volvon valmistamassa puukahmarissa oli näiden haasteiden takia lukitusketjut, joiden tehtävänä on painattaa tukkikuormaa, jotta tukit eivät putoaisi leukojen välistä ja että tukit pysyisivät suorassa. Lukitusketjut ovat huoltovapaat, mutta niiden haittapuolena on, että ne painattavat tukkikuormaa ainoastaan oman painon avulla. Toistuvien tukkien käsittelyssä syntyneiden ongelmien takia asiakas halusi, että puukahmarin lukitusketjut poistettaisiin ja tilalle suunniteltaisiin puristinvarret. Puristinvarret tulisivat toimimaan hydraulikkasyylintereillä, joten puristusvoimaa saataisiin enemmän kuin ketjujen painon avulla. Lisäksi puristinvarret tulisivat painattamaan tukkikuormaa tasaisemmin kuin lukitusketjut. Asiakkaalla on käytössä puristinvarsilla varustettuja puukahmareita, ja hän pitää puristinvarsilla varustettua puukahmari parempana kuin lukitusketjuilla varustettua.

Puristinvarret puukahmareissa eivät ole uusi idea. Volvo valmistaa puristinvarsilla varustettuja puukahmareita, jotka ovat mitoiltaan hyvin lähellä asiakkaan lukitusketjuilla varustettua. Lukitusketjullisen sekä puristinvarrellisen puukahmarin erona on lähinnä runkolevyjen sijoitus. Lukitusketjullisessa puukahmarissa leukojen runkolevyjä on kolme kappaletta siten, että yksi niistä on keskellä. Puristinvarrellisessa puukahmarissa runkolevyjä ei ole keskellä lainkaan, jotta hydraulikkasyylinterille olisi tilaa ja se työntäisi molempia puristinvarsia keskeltä. Työn haasteena on sijoittaa hydraulikkasyylinterit sekä puristinvarret siten, että runkolevyjen muokkaamiselta välttyttäisiin.

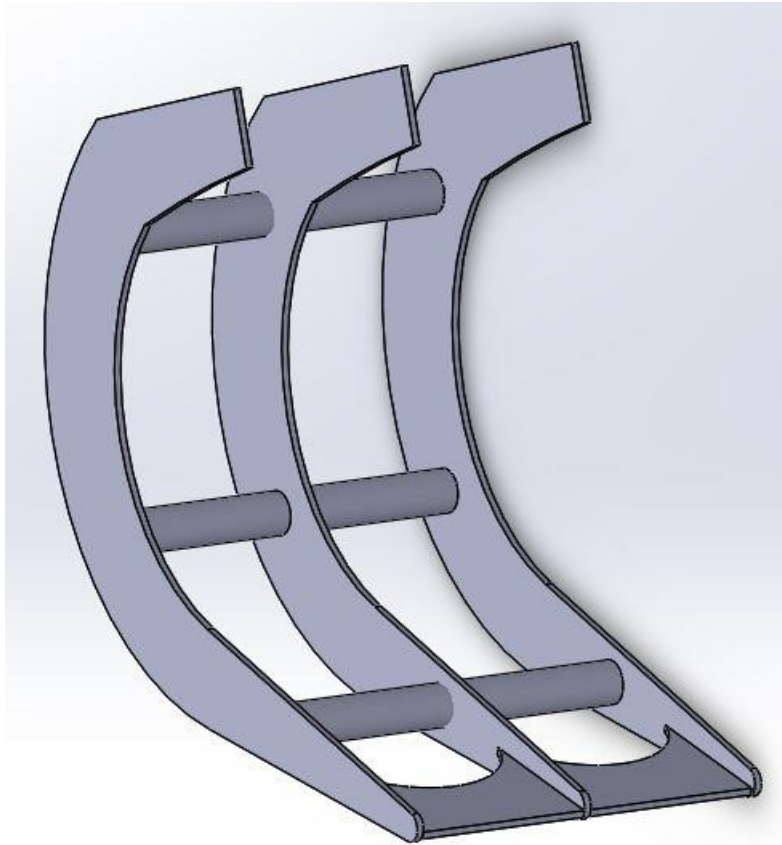
Puristinvarsia tarvitaan vain vajaita tukkikuormia nostettaessa. Kun tukkeja nostetaan täysi kahmarillinen, tukit puristuvat puukahmarin leukojen väliin ja ongelmia noston aikana ei synny. Tämän takia puristinvarret eivät saa olla tiellä, kun niitä ei tarvita. Asiakkaan toiveesta puristinvarret tulisi suunnitella siten, että ne kääntyvät kokonaan piiloon runkolevyjen sisään, kun niitä ei tarvita. Puristinvarsien oikealla sijoituksella välttyään myös puristinvarsien sekä hydraulikkasyylintereiden vaurioitumiselta. Joissain tapauksissa puukahmari painetaan syvälle tukkikasaan, jolloin runkolevyjen sisä- tai ulkosyrjällä ei saa olla mitään tiellä. Tiellä olevat puristinvarret ja hydraulikkasyylinterit vaurioituisivat nopeasti kyseisessä tapauksessa.

Näiden lähtötietojen pohjalta aloitettiin pohtimaan ratkaisuja, ja päädyttiin siihen tulokseen, että helpointa työ on aloittaa mallintamalla puukahmarin leuat (kuva 15). Leukojen mallintamista varten puukahmari mitattiin tarkkaan. Puukahmarin leuat ovat malliltaan kaarevat, mikä osaltaan toi haastetta mitoittamiseen. Onneksi puukahmari oli konepajalla,

joten lisämitoitusta varten ei tarvinnut lähteä kauas. Mitoittamisen jälkeen puukahmarin leukojen runkolevyt (kuva 14) ja niiden väliin tulevat runkoputket aloitettiin mallintamaan SolidWorksillä. Puukahmarin runkolevyt ja runkoputket ovat olennaisimmat osat, koska tulevat puristinvarret eivät vaikuta muihin osiin. Tämän takia puukahmarin kiinnityspiste, leukoja liikuttavat hydraulikkasyylinterit sekä lukitusketjut jätettiin pois mallista. Pelkkien runkolevyjen sekä runkoputkien mallintaminen nopeutti mallin piirtämistä huomattavasti. Pelkistetty malli ei myöskään tule vaikuttamaan lujuustarkasteluihin puristinvarsien osalta. Tämän takia päästiin nopeasti pohtimaan, miten puristinvarret voisi saada sovitettua alun perin lukitusketjuilla varustettuun puukahmariin.



Kuva 14. Puukahmarin runkolevy

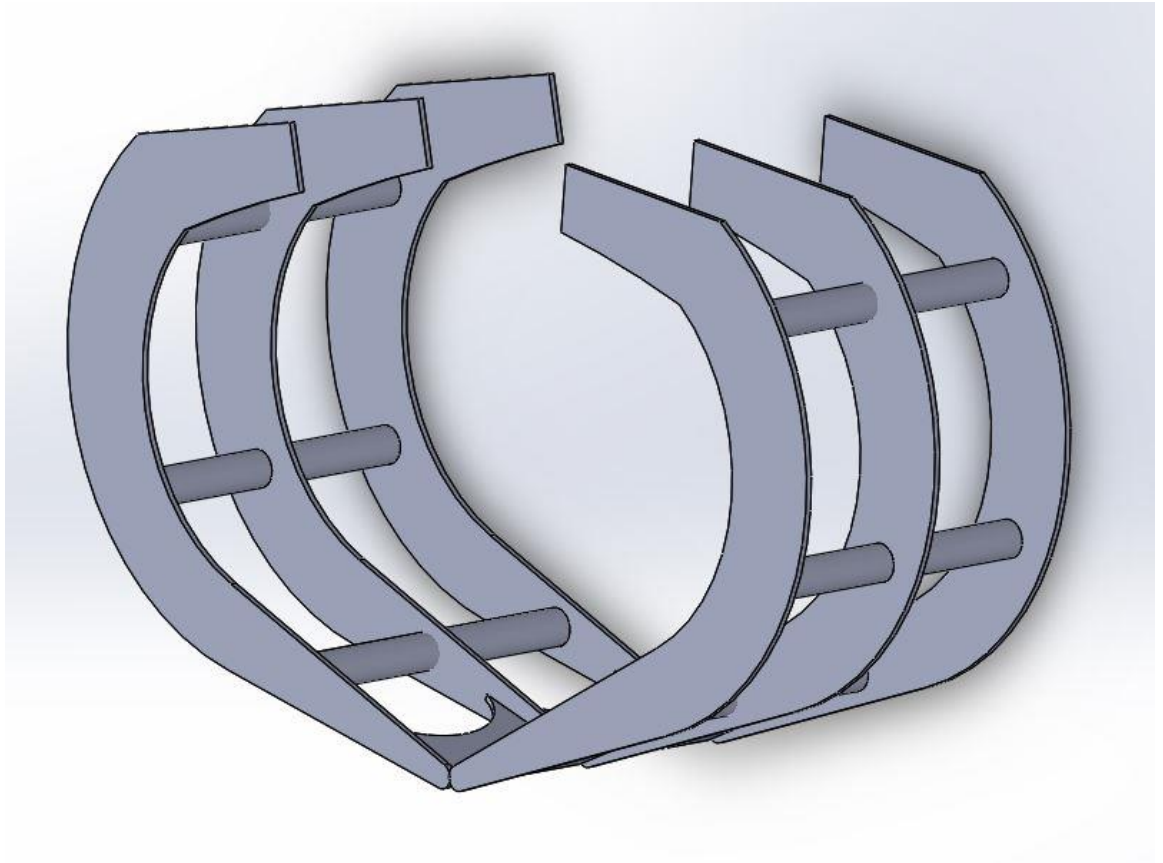


Kuva 15. Puukahmarin leuka

## 6.2 Ratkaisujen pohdinta

Kun yläosasta katkaistu malli puukahmarin leuasta oli valmis, huomattiin heti, että puristinvarsien sekä sylintereiden sijoittaminen leukaan tulee olemaan haasteellista. Yhteen leukaan tuli sijoittaa kaksi puristinvarretta ja hydraulikkasyylinteri. Mikäli tila riittäisikin uusille osille, niin vastakkaisen leuan vastaavat muutokset tulisivat aiheuttamaan ongelmia. Puristinvarret tulisi sijoittaa siten, että kiinni mennessään ne eivät kohtaisi vastakkaisten puristinvarsien kanssa, vaan menisivät limittäin. Puristinvarsien oikean sijoittamisen takia SolidWorksillä luotiin kokoonpanotiedosto, johon asetettiin kaksi leukaa (kuva 16). Leukojen kärjet kohtaavat mallissa aivan kuten puukahmari olisi puristamassa tukkuuormaa. Kokoonpanotiedosto luotiin, jotta voitaisiin tutkia ja mitoittaa puristinvarsien liikeradat. Näiden havaintojen pohjalta pystyttiin suunnittelemaan puristinvarsien muodot. Puristinvarsien liikeradat tulevat myös määrittämään hydraulikkasyylintereiden tarvittavan iskunpituuden, joten kokoonpanotiedosto oli tärkeä.





Kuva 16. Puukahmarin leuat vastakkain

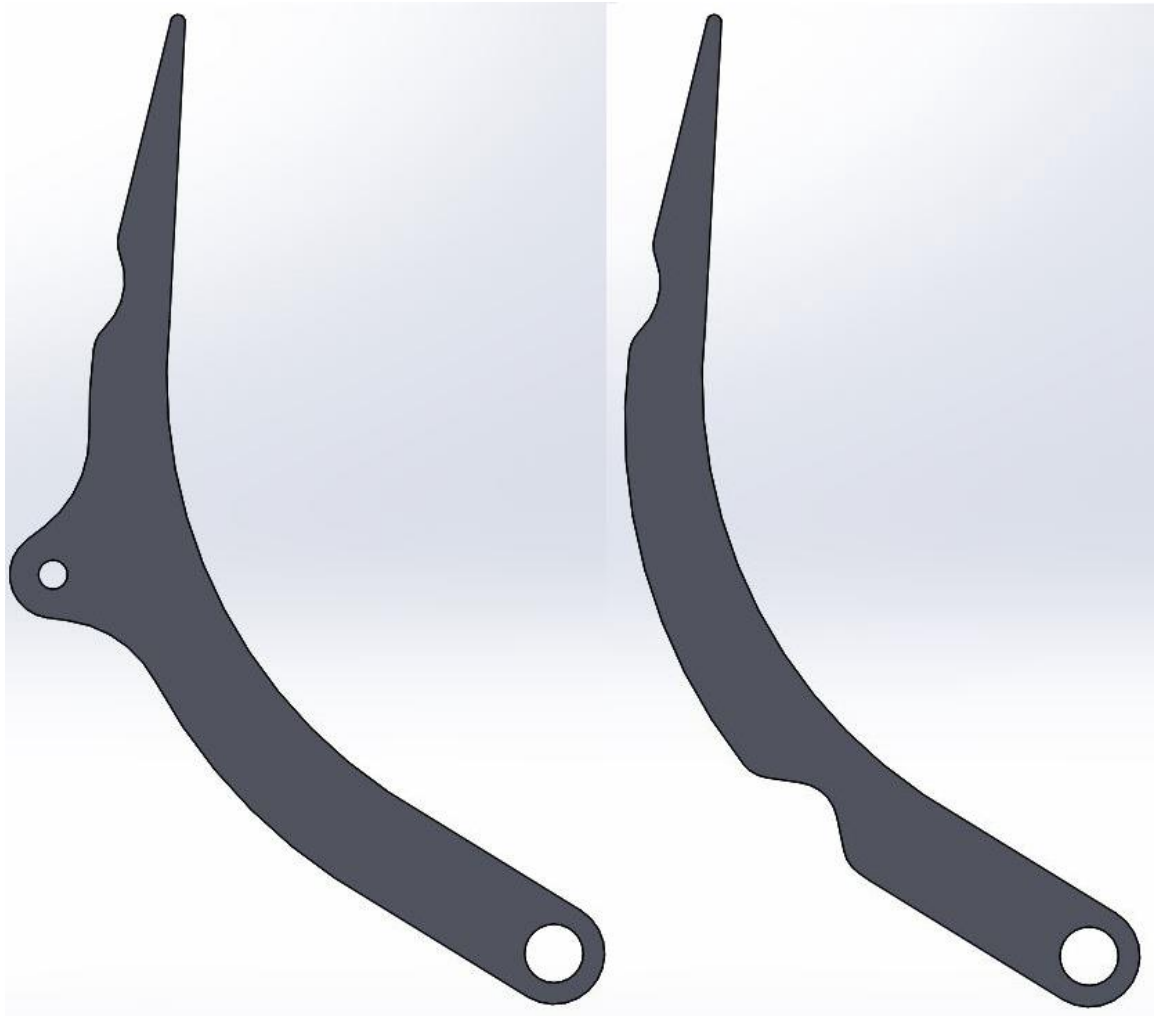
Asiakkaan toiveesta puristinvarret tuli suunnitella siten, että niiden on mahdollista kääntyä runkolevyjen väliin, jotta puristinvarret eivät ole tiellä, kun niitä ei tarvita. Puristinvarsilla puristetaan hyvin vaihtelevan kokoisia tukkikasoja, joten puristinvarret tuli mitoittaa myös siten, että niillä voidaan puristaa jopa yhtä tukkia kerrallaan. Näiden kahden lähtökohdan avulla saatiin mallinnettua puristinvarsien koko ja muoto. Puristinvarsien suunnittelu oli haasteellista, koska samalla täytyi pohtia hydraulikkasyylintereiden sijoitusta. Lisäksi puukahmarin runkoputket aiheuttivat ongelmia puristinvarsien muotoilussa. Puristinvarsiin oli pakko suunnitella lovet runkoputkien kohdalle, jotta puristinvarret mahtuivat kääntymään täysin runkolevyjen väliin. Valmis puristinvarren malli on muodoltaan hyvin lähellä runkolevyn muotoa, jotta se sopii kääntymään runkolevyjen väliin. Puristinvarret mallinnettiin levynä, aivan kuten runkolevyt. Puristinvarret näkyvät kuvassa 17. Puristinvarsien mallia täytyy todennäköisesti muokata vielä myöhemmin suunnittelun edetessä, koska hydraulikkasyylinterit voivat tuoda uusia rajoitteita niiden muotoiluun. Tärkeintä puristinvarsien suunnittelussa tässä vaiheessa oli kuitenkin niiden mitoitus ja kiinnityspiste puukahmariin, jotta päästiin mitoittamaan hydraulikkasyylintereiden liikerajat sekä niiden sijoitukset puukahmariin.

Hydrauliikkasynterinin valinta oli helpointa aloittaa tutkimalla puristinvarsien liikeratoja. Hydrauliikkasynterineiden liikerajojen tutkimista varten puristinvarsi tuli saada kiinnitettyä puukahmarin runkoon oikeaan kohtaan. Puristinvarsi kiinnitettiin malliin, kun puukahmarista löytyi toiminnan kannalta sille paras kohta. Puristinvarsi kiinnittyi puukahmarin malliin siten, että se pääsi liikkumaan oikealla tavalla. Tämä ominaisuus saatiin toimimaan SolidWorksin ”Mate”-työkalulla. Oikeaan kohtaan sijoitetun puristinvarren avulla mitattiin hydrauliikkasynterinin liikerajat ja valittiin Hytar Oy:n sivuilta sopivilla liikerajoilla oleva vakiosynteri pallonivelletyillä päillä. Tämän jälkeen mallista tutkittiin mahdollisia sijoituspaikkoja hydrauliikkasynterille ja huomattiin, ettei tarvittavan pitkällä liikevaralla olevalle hydrauliikkasynterille ole tarpeeksi tilaa. [23.]

Seuraavaksi tutkittiin, että voisiko puukahmariin sijoittaa pienemmän hydrauliikkasynterinin, mutta ratkaisut eivät olleet hyviä. Pienemmällä hydrauliikkasynterillä toteutetuissa ratkaisuissa hydrauliikkasynteri joutui vetämään puristinvarsia, jolloin hydrauliikkasynterinin varsi olisi suurimman osan ajasta esillä ja olisi koko ajan alttiina lialle. Lisäksi hydrauliikkasynterinin sijoitus olisi ollut liian riskialttiilla paikalla, jolloin tukit ja oksat olisivat voineet osua hydrauliikkasynteriin tai hydrauliikkaletkuihin.

Lopulta päädyttiin siihen lopputulokseen, että kahta puukahmarin runkoputkea on siirrettävä ulommaksi, jotta vaadittavalle hydrauliikkasynterille saadaan tarpeeksi tilaa. Runkoputken siirto tuli tehdä molempiin leukoihin. Kahden runkoputken siirtämisen ansiosta hydrauliikkasynterille tuli riittävästi tilaa, jonka jälkeen päästiin suunnittelemaan niiden kiinnitystä.

Puukahmarissa ei ollut valmiiksi sopivaa kohtaa kiinnittää hydrauliikkasynteriä. Puukahmarin runkoputketkin olivat niin kaukana, että yksinkertaisen korvakon hitsaaminen ei ollut mahdollista. Uusien runkolevyjen väliin tulevien osien suunnittelulta ei voinut siis välttyä. Puukahmarin runkolevyjen väliin suunniteltiin uusi ainesputki, johon sopivat korvakot hitsataan hydrauliikkasynterinin kiinnitystä varten. Kun hydrauliikkasynterinin alapään kiinnitys oli suunniteltu, muokattiin vielä puristinvarren mallia siten, että hydrauliikkasynterinin yläpään saa kiinnitettyä siihen. Tähän asti puristinvarsi koostui yhdestä levystä, mutta hydrauliikkasynterinin kiinnityksen takia puristinvarsi tuli muodostumaan kahdesta levystä, joiden väliin hydrauliikkasynterinin yläpää saadaan kiinnitettyä. Lisäksi runkoputken siirtämisen ansiosta toista lovea hydrauliikkasynterinin puoleisessa puristinvarressa ei enää tarvittu. Ratkaisussa hydrauliikkasynterillä pystyy kääntämään yhtä puristinvartta. Jotta hydrauliikkasynteri kääntäisi kahta puristinvartta yhtä aikaa, kuten tavoite oli, niin puristinvarsien välille tuli suunnitella jonkinlainen yhteys.



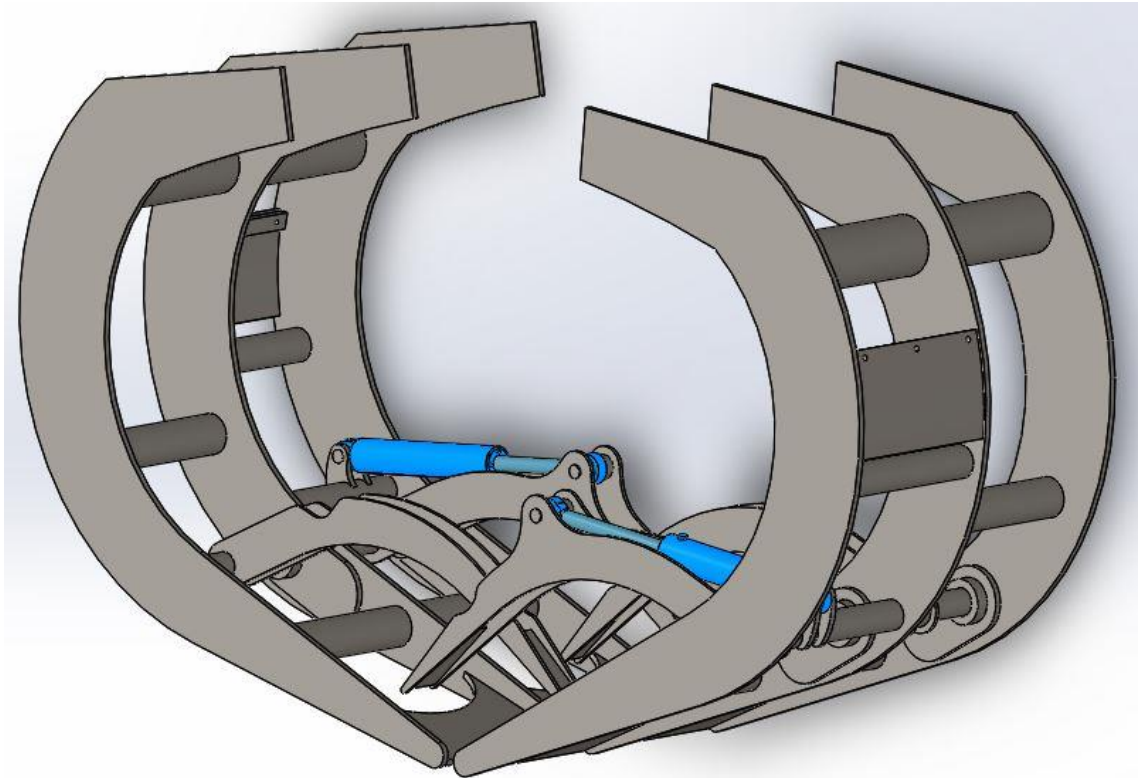
Kuva 17. Vasemmalla puristinvarsi, johon hydraulikkasyylinterin yläpää kiinnittyy. Oikealla puristinvarsi, jota käännetään reaktiotangon avulla

Hydraulikkasyylinteri sijoittui runkolevyjen väliin ja kiinnittyi yhteen puristinvarteen. Jotta hydraulikkasyylinteri kääntäisi kahta puristinvarretta yhtä aikaa, tuli puristinvarsien välille suunnitella reaktiotanko. Reaktiotanko tuli väistämättä kulkemaan keskimmäisen runkolevyn läpi, koska toinen puristinvarsi oli sijoitettu keskimmäisen runkolevyn toiselle puolelle. Reaktiotangon avulla vääntö saadaan välitettyä runkolevyn toisella puolella olevalle puristinvarrelle siten, että puristinvarret kääntyvät yhtä aikaa. Ratkaisu oli hyvä, koska reaktiotangon avulla puristinvarret sijoituivat puukahmariin symmetrisesti ja siten, että ne kääntyivät limittäin vastakkaisten puristinvarsien kanssa. Tasaisin välein sijoitetut puristinvarret painavat tukkikuormaa tasaisesti, joten tukit pysyvät varmasti puukahmarin leukojen välissä sekä tukit oikenevat hyvin noston aikana. Ratkaisun haittapuolena oli keskimmäisen runkolevyn muokkaaminen. Keskimmäiseen runkolevyyn täytyi tehdä reikä tai lovi, jotta reaktiotanko voi kulkea runkolevyn läpi. Lähtökohtaisesti yritettiin välttää muutoksia, joiden takia puukahmarin runkoa jouduttaisiin muokkaamaan, koska muutokset

voivat heikentää puukahmarin leukojen rakennetta. Reaktiotangon paikalleen asettamisen takia keskimmäiseen runkolevyyn täytyi tehdä lovi, tai kahteen runkolevyyn reikä. Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa keskimmäinen runkolevy lovetaan, koska muutokset koskisivat tällöin vain keskimmäistä runkolevyä. Loppujen lopuksi reaktiotangon paikalleen asettamisen jälkeen lovi voidaan korjata hitsaamalla, joten runkolevyyn ei jää suuria epäjatkuvuuskohtia. Lisäksi runkolevyihin hitsattavat laakeripesät peittävät suurimmaksi osaksi lovetun alueen, joka vahvistaa rakennetta. Loven paikkaaminen hitsaamalla kuitenkin estää reaktiotangon irrottamisen puukahmarista ilman uudelleen loveamista, joka on haittapuoli huollettavuuden kannalta.

Kun reaktiotangon sijoitus ja asennushaasteet oli ratkaistu, täytyi reaktiotangolle suunnitella vielä laakerointi. Reaktiotangon laakerointi oli yksinkertaisinta toteuttaa liukulaakereilla, joita voidaan rasvata rasvanipan kautta. Liukulaakereille suunniteltiin sopivat laakeripesät, jotka kiinnittyvät puukahmarin runkolevyihin. Laakeripesien aluslevyt ovat malliltaan soikeat, koska pyöreät muodot eivät aiheuta epäjatkuvuuskohtia rakenteessa niin paljon kuin terävät kulmat. Laakeripesiä tuli yhteensä neljä kappaletta reaktiotangon varrelle, joista kaksi sijoittui reaktiotangon päihin ja kaksi sijoittui keskimmäisen runkolevyn molemmille puolille. Koska laakeripesiä sijoittui jokaiseen runkolevyyn, ratkaisun todettiin olevan kestävä, koska tulevat kuormat jakautuvat tällöin kaikkien runkolevyjen kesken.

Kun puukahmarin malli oli valmis toiminnan kannalta, puukahmariin suunniteltiin vielä kestävyyskannalta suojalevyt. Suojalevyjen oli tarkoitus suojata hydraulikkasyylintereiden letkuliittimiä. Hydraulikkasyylintereiden yläpään letkuliittimet tulivat hyvin lähelle puukahmarin runkolevyjen ulkosyrjää, joten vaarana oli, että ne voivat osua tukkeihin tai oksiin, kun puukahmari painetaan tukkikasaan. Suojalevyjä tuli kaksi kappaletta suojaamaan molempien hydraulikkasyylintereiden letkuliittimiä. Suojalevyt ovat irrotettavissa, jotta ne eivät ole tiellä, mikäli hydraulikkaletkuja tullaan vaihtamaan tai huoltamaan. Suojalevyt olivat viimeinen osa mallia, jonka jälkeen päästiin tutkimaan puukahmarin kestävyyttä SolidWorks-simulaation avulla. Valmis kokoonpano on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Valmis SolidWorks kokoonpano

### 6.3 SolidWorks-simulointi

Jotta puukahmariin tehtyjen muutosten kestävydestä voitiin olla varmoja, mallia tutkittiin SolidWorks-simulaation avulla. Staattisen kuormituksen lujuusanalyysin avulla tiedettiin nähtävän puristinvarsien heikoimmat kohdat. Ennen simulaation toteuttamista oli hyvä luoda hypoteesi siitä, mitkä osat joutuvat suurimmalle rasitukselle. Hypoteesin perusteella on hyvä arvioida tulosten oikeellisuutta. Koska puristinvarsiin kohdistuvat voimat syntyvät hydraulikkasyylintereiden työntövoimasta, oletettiin, että suurimmat jännitykset syntyvät hydraulikkasyylintereiden kiinnityspisteisiin. Lisäksi oletettiin, että kriittisimmät jännitykset syntyvät puristinvarsien lovien kohdalle, koska lovet aiheuttavat aina jännityksien muuttumista. Kun muutosten kestävyttä oli pohdittu, aloitettiin simuloimaan yhtä puukahmarin leukaa. Aiempien simulaatiokokemuksien perusteella tiedettiin, että mallia tulisi todennäköisesti yksinkertaistaa, jotta tuloksiin olisi luottaminen. Liian suuri kokoonpano tai monimutkaiset osat voivat vääristää simulaatiota ja tulokset voivat täten olla virheellisiä. Tämän takia simulaatio päätettiin tehdä vain yhdelle leualle. Yhden leuan simulointi ei vaikuta toisen leuan tuloksiin. Loppujen lopuksi leuat olivat peilikuvat toisistaan, joten yhden leuan simuloinnilla tultaisiin saamaan samat tulokset ilman turhia vastoinkäymisiä.

SolidWorks-simulaatiota varten ensimmäinen vaihe oli määrittää materiaalien myötölujuudet. Kaikkien osien myötölujuudeksi määritettiin  $350 \text{ N/mm}^2$ , koska osat tultaisiin valmistamaan lähes samoilla ominaisuuksilla omaavasta rakenneteräksestä. Seuraavana vaiheena simulaatiossa oli luoda "Mesh" eli jakaa osien rakenne pieniksi elementeiksi. Ensimmäinen ongelma simulaatiossa syntyi "Mesh"-työkalua käytettäessä. SolidWorks ei osannut jakaa mallia elementeiksi, ja tämän takia mallin pääteltiin olevan edelleen liian monimutkainen. Tämän takia mallista poistettiin suojalevy kiinnikkeineen, koska ne eivät koske puristinvarsiin, joten niiden ei uskottu vaikuttavan tuloksiin. Tämän jälkeen kokeiltiin käyttää uudestaan "Mesh"-työkalua, mutta elementteihin jakaminen epäonnistui jälleen. Elementteihin jakamisen tarkkuutta yritettiin säätää karkeammaksi, mutta sekään ei autanut. Lopulta elementteihin jakamisen tarkkuutta kokeiltiin säätää hienommaksi ja SolidWorks sai jaettua mallin elementteihin. Ongelmaksi osoittautui lopulta reaktiotangon läpivienti laakeripesien läpi. Liian karkea elementteihin jakaminen pyrki tekemään reaktiotangosta sekä laakeripesistä yhtenäistä materiaalia, jonka takia pienemmiksi elementeiksi jakaminen osoittautui toimivaksi.

Seuraavana vaiheena simulaation luomiseksi oli määrittää reunaehtona tukipisteet, joiden suhteen kokoonpano ei liiku. Koska luotu malli oli katkaistu yläosasta, niin tukipisteitä ei voinut määrittää kohtaan, josta puukahmari kiinnittyy pyöräkuormajaan. Tämän takia kiinnityspisteet määritettiin runkolevyjen päihin. Tukipisteiden tehtävä on pitää puukahmarin runkolevyt paikallaan simulaation aikana, joten ratkaisu osoittautui yhtä todenmukaiseksi kuin kiinnitys pyöräkuormajaan. Kun puukahmarin runko oli tuettu tukipisteillä, seuraavana vaiheena oli tukea puristinvarret, kuten ne olisivat puristamassa tukkikasaa. Puristinvarsiin määritettiin alue, josta ne olisivat kosketuksissa tukkien kanssa. Alue, jolta puristinvarret oli tuettu, kuten ne puristaisivat tukkikasaa, olivat liukuvat eli ne eivät olleet täysin kiinteät. Tukialueet määritettiin liukuviksi, jotta simulaation tilanne olisi mahdollisimman realistinen. Todellisuudessa puristinvarret eivät pääse kääntymään tukkikasan läpi, mutta ne voivat liikkua tukkien pitkittäisessä suunnassa, joten liukuva kiinnitysalue kuvasi parhaiten todellisuutta.

Viimeisenä vaiheena simulaatiossa oli määrittää voimat, jotka kuormittavat kokoonpanoa. Koska puristinvarsiin kohdistuu ainoastaan hydraulikkasyylinterien työntövoima, tuli ratkaista laskemalla, kuinka suurella voimalla sylinterin varsi pystyy kääntämään puristinvarsia. Hydraulikkasyylinterin työntövoima perustuu hydraulikkaneesteen paineeseen, joka ohjataan sylinterin sisään. Hydraulikkaneesteen paine kohdistuu hydraulikkasyylinterin si-



sällä olevan mäntään, joka työntää männänvartta ulospäin. Kun tiedossa on hydrauliiKANesteen paine sekä männän pinta-ala, voidaan työntävä voima ratkaista laskemalla. Nestepaineen yhtälöksi saadaan aluksi

$$p = \frac{F}{A}, \quad (4)$$

missä  $p$  on nestepaine,  $F$  on mäntävoima ja  $A$  on männän pinta-ala [22, s.183].

Koska nestepaine on mäntävoiman sekä männän pinta-alan osamäärä, toisaalta edellisen perusteella yhtälöstä (4) tulee näin

$$F = pA, \quad (5)$$

josta voidaan ratkaista mäntävoima.

Mäntävoiman ratkaisemista varten täytyy ratkaista pyöreän männän pinta-ala yhtälöstä

$$A = \pi R^2, \quad (6)$$

missä  $A$  on männän pinta-ala,  $\pi$  on vakio (pii) ja  $R$  on männän säde [22, s. 18]. Yhdistämällä kaavat (5) ja (6) saadaan männän työntövoiman laskukaavaksi

$$F = p\pi R^2. \quad (7)$$

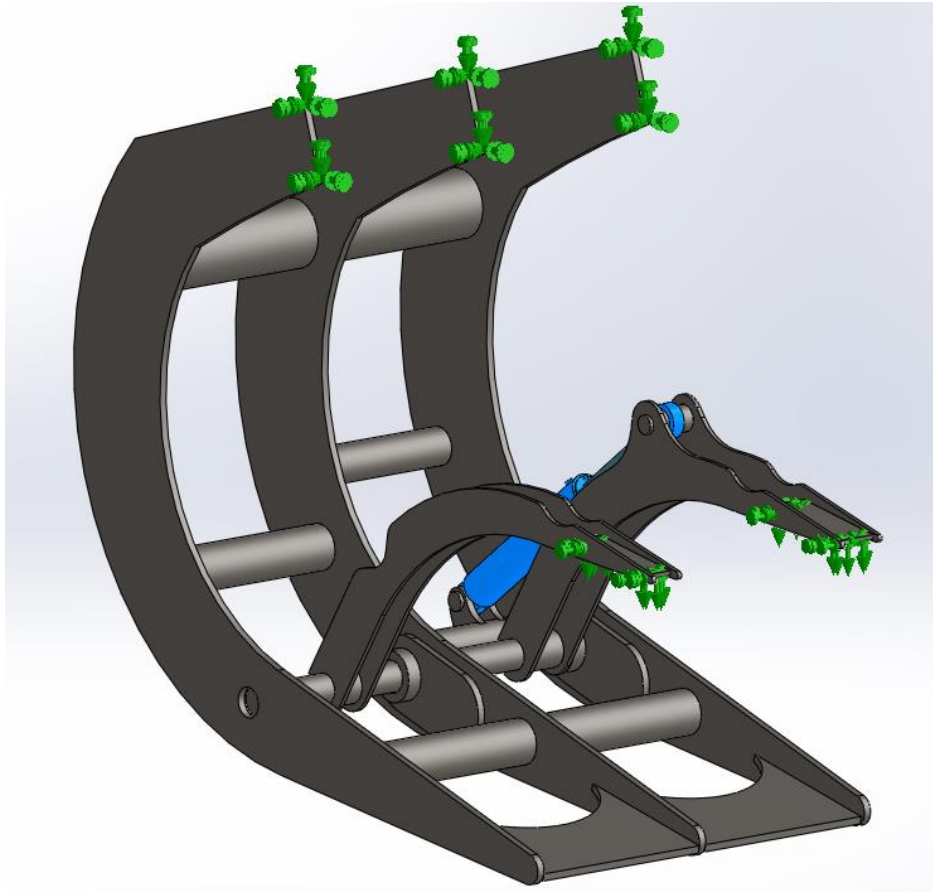
Koska hydrauliiKKasylinteri oli valittu ja tiedossa oli hydrauliiKKasylinterin männän halkaisija sekä hydrauliiKANesteen paine, voidaan yhtälöstä (7) ratkaista männän työntövoima  $F$ . Seuraavaksi sijoitetaan tunnettu nestepaine (200 bar) sekä männän säde (40 mm) yhtälöön (7):

$$F = 200 \text{ bar} \cdot (\pi \cdot (40 \text{ mm})^2),$$

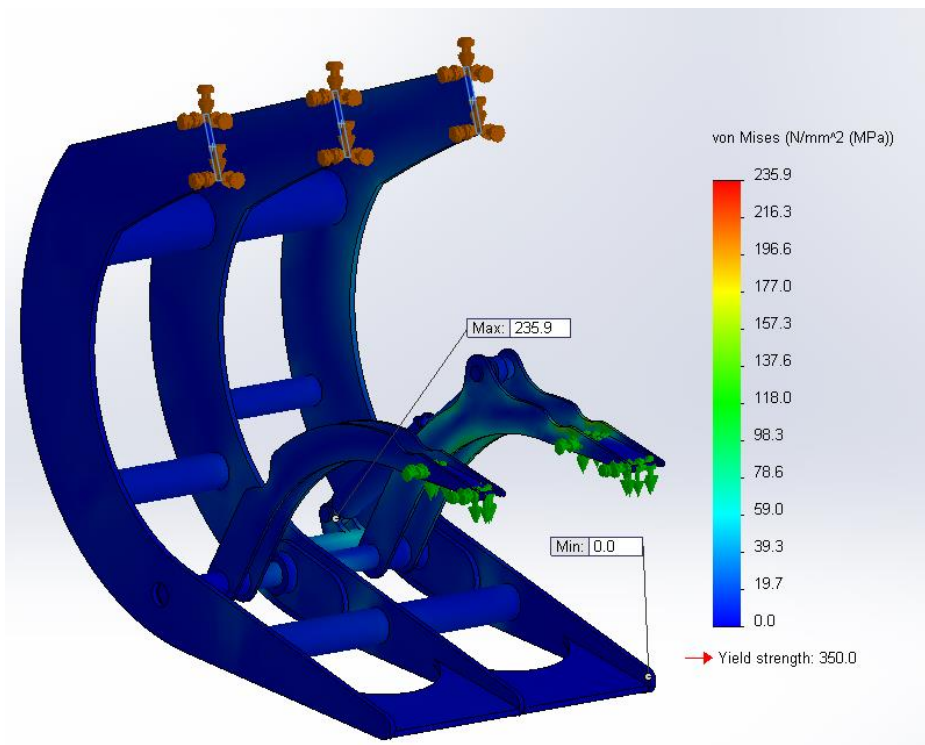
$$F = 200 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (\pi \cdot (0,04 \text{ m})^2)$$

$$F = 200 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2} \cdot (\pi \cdot (0,04 \text{ m})^2) = 100530,9649 \text{ N} \approx 100531 \text{ N}$$

Kun tiedossa oli hydrauliiKKasylinterin työntövoima, voitiin se määrittää SolidWorks-simulaatioon. Työntövoima määritettiin hydrauliiKKasylinterin männän päähän, johon se todellisuudessaakin kohdistuisi. Tämän jälkeen pystyttiin analysoimaan simulaation tuloksia ja vertaamaan niitä hypoteeseihin. Lujuusanalyysin lähtötilanne ja tulokset on esitetty kuvissa 19 ja 20.



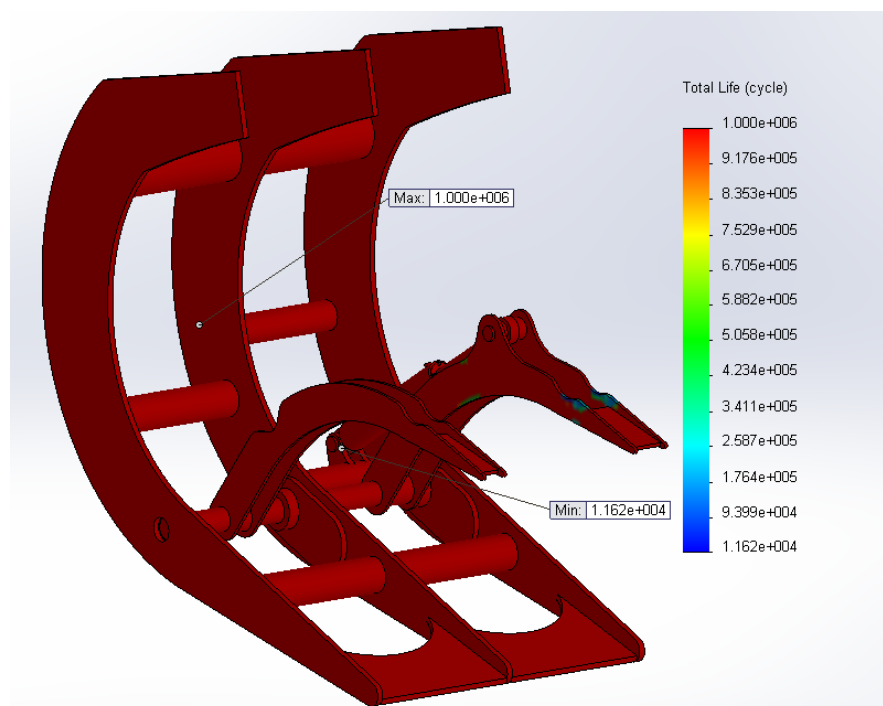
Kuva 19. Lujuusanalyysin lähtötilanne



Kuva 20. Lujuusanalyysin tulos.

Simulaation tulokset olivat oletetun laiset. Suurimmat rasitukset kohdistuivat hydraulikkasyylinterin kiinnitystappeihin sekä hydraulikkasyylinterin kiinnityskohtiin. Simulaatio toteutettiin puristinvarsien eri asennoissa ja tulokset olivat lähes aina samat. Simulaatio vahvisti hypoteesin puristinvarsien lovien vaikutuksesta kestävyys. Jännitykset olivat suurempia puristinvarsien lovien kohdalla kuin muualla puristinvarren rakenteessa. SolidWorks-simulaation tulosten perusteella kokoonpano kestää hydraulikkasyylinterin täyden työntövoiman, joten seuraavaksi mallille tehdään väsymisanalyysi.

Väsymisanalyysi hyödyntää lujuusanalyysin tuloksia. Väsymisanalyysin laatimiseksi tulee kuitenkin määrittää, millainen väsymislujuustarkastelu on kyseessä. Puukahmarin puristinvarsia käytettäessä syntyy vaihtokuormitusta, eli puristinvarsia kuormitetaan hydraulikkasyylinterin työntövoimalla. Väsymisanalyysin perusteella voidaan nähdä montako lujuusanalyysin kaltaista jännitystilaa materiaalit kestävät. Väsymisanalyysin tulokset näkyvät kuvassa 21. Väsymisanalyysistä voitiin nähdä edelleen puristinvarren lovien sekä hydraulikkasyylinterin kiinnityspisteiden olevan heikoimmat kohdat mallissa. Väsymisanalyysin mukaan väsymiskestävydeltään heikoin kohta oli hydraulikkasyylinterin alakiinnitystappi. Väsymisanalyysin mukaan kyseinen tappi tulisi kestämään 11620 kertaa hydraulikkasyylinterin työntövoiman täydellä voimalla, joten tuloksista voidaan päätellä, että malli on riittävän kestävä käytön kannalta. Puristinvarsia ei käytetä läheskään jokaisen tukkikuorman noston aikana ja tukkikuormaa ei paineta aina hydraulikkasyylintereiden täydellä voimalla, joten todellinen väsymislujuusikä on paljon simulaation tuloksia korkeampi.



Kuva 21. Väsymisanalyysin tulos

#### 6.4 Valmistus ja lujuustarkastelu

Puukahmarin osiin käytetään S355J2- ja S420M-rakenneterästä, joiden myötölujuus on  $355 \text{ N/mm}^2$  ja  $420 \text{ N/mm}^2$ . SolidWorks-mallia luodessa oli pohdittu mistä materiaaleista puukahmariin tulevat osat valmistetaan. Tämän takia valmistettavuutta ei tarvinnut pohtia enää materiaalien osalta. Simulaation tulosten perusteella huomattiin kuitenkin, mihin kohtiin valmistuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta puristinvarsista sekä niiden kiinnityksistä tulisi mahdollisimman kestävästä staattista kuormaa ja väsymistä vastaan. SolidWorks-simulaation avulla huomattiin, että suurimmat rasitukset kohdistuvat hydraulikkasyylintereiden kiinnityskohtiin sekä puristinvarsien rakenteeseen. Seuraavaksi käsitellään edellä mainittuja kohtia ja kuinka ne tulisi valmistaa, jotta rakenteesta saadaan kestävä. Samalla tutkitaan myös laskemalla ratkaisujen kestoja. Puristinvarsien levyihin tehtäviä lovia ei voinut välttää, koska muuten puristinvarsista olisi tullut liian kapeat. Lovet oli muotoiltava siten, ettei loven reunoissa ole teräviä kulmia, jotka voivat toimia särön alkupisteinä. Tämän takia puristinvarren lovimuodot ovat pyöristetyt. Pyöristetyt muodot saadaan valmistettua polttoleikkaamalla puristinvarren levyt numeerisesti ohjatulla polttokoneella.

Hydrauliikkasyylinteri kiinnittyy yläpäästä tapilla kahden levyn väliin, jotka muodostavat puristinvarren. Hydrauliikkasyylinterin kiinnitys puristinvarteen näkyy kuvassa 22. Puristinvarsien levyjen väli oli kuitenkin turhan suuri kiinnityksen kannalta, koska hydraulikkasyylinterin täytyi mahtua levyjen väliin. Tämän takia levyihin tulee hitsata holkit, jotka lyhentävät matkaa, jolla tappi on näkyvissä. Lyhempi matka holkin ja hydraulikkasyylinterin yläpään välillä pienentää tapille tulevaa taivutusmomenttia, koska tapin tukipiste tulee tällöin lähemmäksi kuormitus pistettä. Tämä voidaan nähdä yhtälöstä

$$\max M = \frac{Fl}{4}, \quad (8)$$

jossa  $M$  on taivutusmomentti,  $F$  on kuormittava voima ja  $l$  on kaksitukisen tapin tukipisteiden välinen etäisyys [22, s. 316]. Seuraavaksi lasketaan tappiin kohdistuva taivutusmomentti ilman hitsattuja holkkeja yhtälöä (8) käyttäen

$$\max M = \frac{100531 \text{ N} \cdot 0,11 \text{ m}}{4} = 2765 \text{ Nm}$$

Seuraavaksi lasketaan vertailun vuoksi hydraulikkasynterinin yläpään kiinnitystapin taivutusmomentti, kun tukipisteiden väliä on pienennetty hitsaamalla puristinvarren levyihin ainesputkesta valmistetut holkit.

$$\max M = \frac{100531 \text{ N} \cdot 0,045 \text{ m}}{4} = 1131 \text{ Nm}$$

Kuten yllä olevista tuloksista voidaan nähdä, pienentämällä tukipisteiden väliä, eli lisäämällä puristinvarren levyihin holkit, voidaan pienentää tapille syntyvää taivutusmomenttia. Taivutusmomentti siirtyy tapilta holkkeihin, mutta koska holkit kestävät enemmän taivutusmomenttia kuin tapit, joten keskitytään ainoastaan tappiin kohdistuviin kuormituksiin. Koska tiedossa oli tappiin kohdistuva taivutusmomentti, kun sen tukipisteiden väliä oli pienennetty, voitiin tappiin kohdistuva taivutusjännitys laskea yhtälöstä

$$\sigma_t = \frac{M}{W}, \quad (9)$$

missä  $\sigma_t$  on taivutusjännitys,  $M$  on taivutusmomentti ja  $W$  on taivutusvastus [22, s. 271]. Taivutusjännityksen laskemista varten täytyy tietää vielä tapin taivutusvastus, joka voidaan laskea ympyrän muotoisille tangoille yhtälöstä

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (10)$$

missä  $W$  on taivutusvastus,  $\pi$  on vakio (pii) ja  $d$  on tapin halkaisija [22, s. 308]. Lopuksi ratkaistaan tappiin kohdistuva taivutusjännitys yhdistämällä yhtälöt (9) ja (10) ja sijoittamalla tunnetut arvot yhdistettyyn yhtälöön (11)

$$\sigma_t = \frac{M}{\frac{\pi d^3}{32}} \quad (11)$$

$$\sigma_t = \frac{1131 \text{ Nm}}{\frac{\pi(0,04 \text{ m})^3}{32}} = \frac{1131000 \text{ Nmm}}{\frac{\pi(40 \text{ mm})^3}{32}} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Pienentämällä tukipisteiden väliä eli lisäämällä puristinvarren levyihin holkit voidaan pienentää tapille syntyvää taivutusmomenttia, joka vaikuttaa suoraan tappiin kohdistuvaan taivutusjännitykseen. Taivutusjännitykseksi saatiin laskemalla  $180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ , joka on vain hieman yli puolet terästapin myötölujuudesta, joten tapit tulevat kestäämään taivutusjännityksen. Holkkien lisäämisessä puristinvarsien levyihin oli tärkeää, että lyhyet ainesputken

palat hitsataan ensin kiinni levyihin, jonka jälkeen reiät avarretaan poraamalla. Tällöin poratut reiät sijoittuvat saman keskeisesti toistensa suhteen ja tappi on täten helppo asentaa.

Taivutusjännitystä esiintyy harvoin yksin. Taivutusjännityksen lisäksi taipuvissa kappaleissa esiintyy usein myös leikkausjännityksiä. Jotta hydraulikkasynterinin kiinnitystapin kestävydestä voidaan olla varmoja, on tarkasteltava myös tapille syntyvää puhdasta leikkausjännitystä sekä leikkausjännitystä taivutuksen yhteydessä. Kiinnitystapille ei synny puhdasta leikkausta juuri koskaan, koska se pääsee myös taipumaan, mutta otetaan kuitenkin myös puhdas leikkausjännitys huomioon vertailun vuoksi. Leikkausjännitykset pyrkivät katkaisemaan kiinnitystapin läheltä sen tukipisteitä. Koska kiinnitystappi on tuettu molemmista päistään ainesputkesta valmistettuihin holkkeihin, jakaantuu hydraulikkasynterinin aiheuttama leikkausjännitys kahteen eri kohtaan. Puhdas leikkausjännitys voidaan laskea yhtälöstä

$$T = \frac{F}{A}, \quad (12)$$

missä  $T$  leikkausjännitys,  $F$  leikkausvoima ja  $A$  leikkautuvan kappaleen poikkipinta-ala [22, s. 272]. Leikkausvoima on hydraulikkasynterinin kohdistama voima tappiin. Syntyvä leikkausjännitys voidaan jakaa kahdella, koska leikkausjännitys kohdistuu kahteen kohtaan kiinnitystappia. Ennen leikkausjännityksen laskemista tulee kuitenkin ratkaista kiinnitystapin poikkipinta-ala yhtälöstä

$$A = \pi r^2, \quad (13)$$

missä  $A$  on poikkipinta-ala,  $\pi$  on vakio (pii) ja  $r$  on kiinnitystapin säde [22, s.183]. Kiinnitystapin poikkipinta-alan laskemiseen käytetty yhtälö (13) voidaan yhdistää leikkausjännityksen yhtälöön (12). Kun samalla otetaan huomioon, että leikkausjännitys kohdistuu kahteen kohtaan kiinnitystapissa, saadaan yhdistetyksi yhtälöksi

$$T = \frac{F}{2(\pi r^2)}. \quad (14)$$

Sijoitetaan lopuksi tunnettu leikkausvoima (100531 N) ja kiinnitystapin säde (20 mm) yhtälöön (14),

$$T = \frac{100531 \text{ N}}{2(\pi(20 \text{ mm})^2)} = 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puhtaan leikkausjännityksen suuruudeksi saatiin  $40 \frac{N}{mm^2}$ , joka on varsin pieni jännitys verrattuna tapille syntyvään taivutusjännitykseen. Kiinnitystapille voidaan kuitenkin laskea leikkausjännitys taivutuksen yhteydessä. Leikkausjännitys taivutuksen yhteydessä pyöreille tangoille voidaan laskea yhtälöstä

$$T_{\max} = \frac{4F}{3A}, \quad (15)$$

missä  $T_{\max}$  on maksimileikkausjännitys tapin neutraaliakselilla,  $F$  on leikkausvoima ja  $A$  akselin poikkipinta-ala [22, s. 273]. Lasketaan seuraavaksi, kuinka suuri leikkausjännitys kiinnitystapille syntyy taivutuksen yhteydessä sijoittamalla tunnettu voima ja poikkipinta-ala yhtälöön (15) ja otetaan samalla huomioon syntyvän leikkausjännityksen jakaantuminen kahteen kohtaan

$$T_{\max} = \frac{4 \cdot 100531 N}{2 \cdot 3(\pi(20 mm)^2)} \approx 53,3 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkausjännityksen suuruus yhtälön (15) avulla laskettuna on hieman suurempi kuin yhtälöllä (14) laskettu puhtaan leikkausjännityksen suuruus. Leikkausjännitykset eivät ole kuitenkaan suuria verrattuna taivutusjännitykseen. Puhdas leikkausjännitys voi kuitenkin korostua taivutusjännityksen kanssa, mikäli sylinterin yläpää pääsee jostain syystä ajautumaan toiseen laitaan. Lasketaan seuraavaksi puhtaan leikkauksen ja taivutusjännityksen yhteisjännitys vakio muodonvääristymistyyöhypoteesin avulla yhtälöstä

$$\sigma_{yhd.} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}, \quad (16)$$

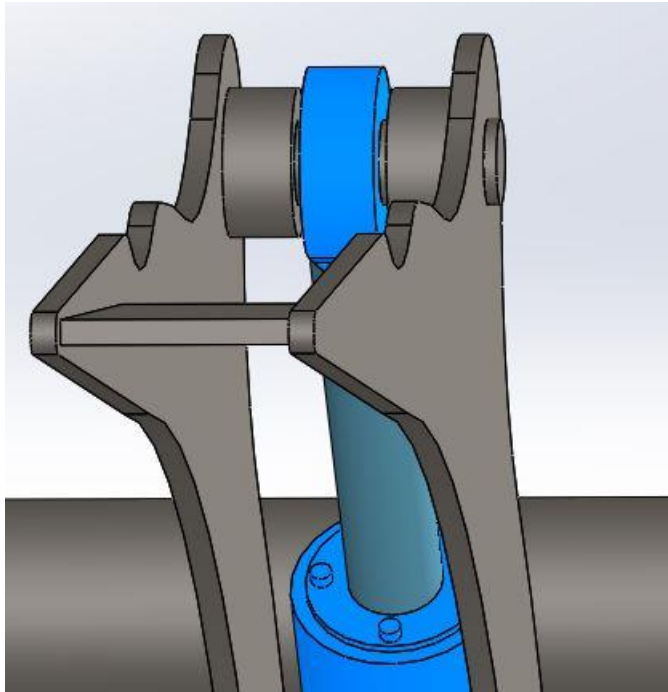
missä  $\sigma_{yhd.}$  on yhdistetty jännitys,  $\sigma_x$  on normaalijännitys,  $\sigma_y$  on toinen normaalijännitys ja  $\tau_{xy}$  on leikkausjännitys [24, s. 9.2]. Koska tässä tapauksessa lasketaan ainoastaan taivutusjännityksen ja puhtaan leikkausjännityksen yhdistettyä jännitystä, voidaan toinen jännitysmuoto supistaa pois yhtälöstä. Yhtälöksi tulee tällöin

$$\sigma_{yhd.} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (17)$$

$$\sigma_{yhd.} = \sqrt{(180 \frac{N}{mm^2})^2 + 3(40 \frac{N}{mm^2})^2} = 192,8730 \approx 193 \frac{N}{mm^2}$$

Tuloksista voidaan nähdä, että S355J2-rakenneteräksestä valmistettu kiinnitystappi tulee kestävänsä hydraulikkasynterlin täyden työntövoiman. Kiinnitystappiin kohdistuva yhdistetty jännitys syntyy harvoin tai ei koskaan, joten jännitykset eivät ole todellisuudessa aina

niin suuria kuin edellä laskettu yhdistetty jännitys. Lisäksi hydraulikkasynterin yläpään kiinnityksessä ei todellisuudessa ole kuin muutamien millimetrin suuruinen rako ainesputkista valmistettuihin holkkeihin, joten käytännössä voidaan todeta, että kiinnitystapille syntyy käytön aikana ainoastaan miltei puhdasta leikkausjännitystä.



Kuva 22. Hydraulikkasynterin kiinnitys puristinvarteen

Suunniteltaessa hydraulikkasynterin alapään kiinnitystä huomioitiin kiinnitystapille syntyvä taivutusjännitys ja leikkausjännitys samoin kuin yläpään kiinnitystapille. Hydraulikkasynterin alapään kiinnitystappiin syntyy yhtä suuri jännitys kuin yläpään kiinnitystapille Newtonin kolmannen lain mukaan: ”Mikäli kappale 1 kohdistaa voiman kappaleeseen 2, täytyy kappaleen 2 kohdistaa yhtä suuri vastakkainen voima kappaleeseen 1” [25, s. 283]. Tämän takia hydraulikkasynterin alapään kiinnityspisteeseen syntyy yhtä suuri vastakkainen jännitys kuin yläpään kiinnitykseen. Hydraulikkasynterin alapään kiinnitystapin tukipisteiden väli tuli olemaan sama kuin yläpään kiinnitystapille, joten siihen kohdistuu yhtä suuri taivutusjännitys ja yhtä suuria leikkausjännityksiä. Ainesputkeen hitsatut korvakot, jotka toimivat tapin tukipisteinä, sijoitettiin mahdollisimman lähelle hydraulikkasynteriä, jolloin kiinnitystapin kiinnityspisteiden väli oli yhtä lyhyt kuin yläpään kiinnitystapilla. Tämän takia tappiin kohdistuva taivutusmomentti saatiin pienemmäksi kuten yhtälöstä (5) voitiin todeta.

Hydraulikkasynterin kiinnitystä varten ainesputkeen hitsataan korvakot, joihin hydraulikkasynteri kiinnittyy terästäpilla. Hydraulikkasynterin kiinnitys korvakoihin näkyy kuvassa



23. Ainesputken materiaali on S420M. Ainesputki kiinnitetään puukahmarin runkolevyjen väliin hitsaamalla, jolloin ainesputken päät eivät pääse liikkumaan. Korvakot sijoittuivat ainesputken varrelle siten, että ne eivät olleet keskellä ainesputkea. Tämän takia tuli tarkastella ainesputkeen syntyviä taivutusjännityksiä. Taivutusjännityksien tutkimisella voidaan varmistua siitä, että ainesputkeen ei synny liian suuria taivutusjännityksiä. Kun tiedossa on ainesputkeen kohdistuvan voiman etäisyys kummastakin tukipisteestä sekä voima, voidaan taivutusmomentti lähemmän tukipisteen kohdalla laskea yhtälöstä

$$M_B = -Fb \left( \frac{a}{l} \right)^2, \quad (18)$$

missä  $F$  on voima,  $b$  on voiman etäisyys lähemmästä tukipisteestä,  $a$  on voiman etäisyys kauemmasta tukipisteestä ja  $l$  on tukipisteiden väli [22, s. 323]. Lasketaan seuraavaksi lähempään tukipisteeseen syntyvä taivutusmomentti

$$M_B = -100531 \text{ N} \cdot 0,1325 \text{ m} \left( \frac{0,3875 \text{ m}}{0,52 \text{ m}} \right)^2 = -7396,948709 \text{ Nm} \approx -7397 \text{ Nm}$$

Seuraavaksi lasketaan, kuinka suuri taivutusmomentti syntyy kauempaan tukipisteeseen. Tukipisteen taivutusmomentti voidaan laskea yhtälöstä

$$M_A = -Fa \left( \frac{b}{l} \right)^2, \quad (19)$$

missä  $F$  on voima,  $b$  on voiman etäisyys lähemmästä tukipisteestä,  $a$  on voiman etäisyys kauemmasta tukipisteestä ja  $l$  on tukipisteiden väli [22, s. 323]. Sijoitetaan tunnetut arvot yhtälöön (19)

$$M_A = -100531 \text{ N} \cdot 0,3875 \text{ m} \left( \frac{0,1325 \text{ m}}{0,52 \text{ m}} \right)^2 = -2529,279236 \text{ Nm} \approx -2529 \text{ Nm}$$

Kauempaan tukipisteeseen kohdistuu pienempi taivutusmomentti kuin lähempään tukipisteeseen. Lasketaan lisäksi, kuinka suuri taivutusmomentti ainesputkeen kohdistuu voiman kohdalla. Taivutusmomentti voiman kohdalla voidaan laskea yhtälöstä

$$M_F = 2Fl \left( \frac{a}{l} \right)^2 \left( \frac{b}{l} \right)^2, \quad (20)$$

missä  $F$  on voima,  $b$  on voiman etäisyys lähemmästä tukipisteestä,  $a$  on voiman etäisyys kauemmasta tukipisteestä ja  $l$  on tukipisteiden väli [22, s. 323]. Sijoitetaan tunnetut arvot yhtälöön (20)

$$M_F = 2 \cdot 100531 \text{ N} \cdot 0,52 \text{ m} \left( \frac{0,3875 \text{ m}}{0,52 \text{ m}} \right)^2 \left( \frac{0,1325 \text{ m}}{0,52 \text{ m}} \right)^2 = 3769,598861 \text{ Nm} \approx 3770 \text{ Nm}$$

Koska suurin taivutusmomentti ainesputkessa kohdistuu lähempään tukipisteeseen, tarkastellaan seuraavaksi, kuinka suuri taivutusjännitys kohdistuu tähän tukipisteeseen. Muiden pisteiden taivutusjännitysten tarkastelu ei ole tarpeellista, koska taivutusjännitys on taivutusmomentin sekä taivutusvastuksen osamäärä. Ainesputkella on yhtä suuri taivutusvastus koko matkalla, joten suurimmat taivutusjännitykset syntyvät kohtaan, jossa taivutusmomentti on suurin. Lasketaan seuraavaksi taivutusjännitys lähemmän tukipisteen kohdalla yhtälöstä

$$\sigma_t = \frac{M}{W}, \quad (21)$$

missä  $\sigma_t$  on taivutusjännitys,  $M$  on taivutusmomentti ja  $W$  on taivutusvastus [22, s. 271]. Taivutusjännityksen laskemista varten täytyy laskea ainesputken taivutusvastus, joka voidaan laskea putkille yhtälöstä

$$W = \left( \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \right), \quad (22)$$

missä  $W$  on taivutusvastus,  $\pi$  on vakio (pii),  $D$  on ainesputken ulkohalkaisija ja  $d$  on ainesputken sisähalkaisija [22, s. 309]. Lopuksi ratkaistaan taivutusjännitys lähemmässä kiinnityspisteessä yhdistämällä yhtälöt (21) ja (22) ja sijoittamalla yhtälöön ainesputken ulkohalkaisija (90 mm), sisähalkaisija (63 mm) ja taivutusmomentti (-7397 Nm)

$$\sigma_t = \frac{M}{\left( \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \right)} \quad (23)$$

$$\sigma_t = \frac{-7397 \text{ Nm}}{\left( \frac{(90 \text{ mm}^4 - 63 \text{ mm}^4)}{32 \cdot 90 \text{ mm}} \right)} = -136 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 136 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Negatiivinen tulos kertoo ainoastaan taivutusjännityksen suunnan, joten se voidaan jättää huomioimatta. Taivutusjännityksen suuruus lähemmässä kiinnityspisteessä on pienempi kuin kiinnitystapin taivutusjännitys, joten ainesputkikin tulee kestävänsä siihen kohdistuvat staattiset taivutusjännitykset.

Taivutusjännitykset ovat normaalijännityksiä, mutta ainesputkeen kohdistuu myös leikkausjännitystä taivutuksen sekä vääntöjännityksen takia. Molemmat jännitystyyppit ovat

leikkausjännityksiä, jotka korostuvat ainesputken ulkoreunalla, joten ne tulee ottaa huomioon. Lisäksi vääntöjännitys korostuu myös taivutusjännityksen kanssa. Lasketaan ensin leikkausjännityksen suuruus ainesputkelle taivutuksen aikana yhtälöstä

$$T_{I \max} = \frac{2F}{A}, \quad (24)$$

missä  $T_{I \max}$  on suurin leikkausjännitys,  $F$  on leikkausvoima ja  $A$  ainesputken poikkipinta-ala [22, s. 273]. Lasketaan seuraavaksi syntyvä leikkausjännitys taivutuksen aikana yhtälön (24) avulla

$$T_{I \max} = \frac{2 \cdot 100531 \text{ N}}{\pi(45 \text{ mm})^2 - \pi(31,5 \text{ mm})^2} \approx 62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kun otetaan huomioon, että leikkausjännitystä syntyy ainesputken molempiin kiinnityspisteisiin, voidaan todeta, että suurin yksittäinen leikkausjännitys on puolet lasketusta leikkausjännityksestä, eli  $31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ .

Ainesputken korvakot toimivat pahimmassa tapauksessa hydraulikkasynterin työntövoiman vipuvartena aiheuttaen vääntöjännitystä ainesputkeen. Korvakon kiinnitystapin reiän sekä ainesputken keskikohtien etäisyys toisistaan on 120mm. Tämä etäisyys on vipuvarren pituus. Tiedettäessä vääntömomentti sekä vääntövastus voidaan vääntöjännitys laskea yhtälöstä

$$T_v = \frac{M_v}{W_v}, \quad (25)$$

missä  $T_v$  on vääntöjännitys,  $M_v$  on vääntömomentti ja  $W_v$  on vääntövastus [22, s. 273]. Yhtälön ratkaisemiseksi tulee ensin ratkaista vääntömomentti sekä vääntövastus. Vääntömomentti voidaan laskea yhtälöstä

$$M_v = Fl, \quad (26)$$

missä  $M_v$  on vääntömomentti,  $F$  on hydraulikkasynterin työntövoima ja  $l$  on vääntövarren pituus [22, s. 273]. Vääntövastus voidaan laskea puolestaan laskea yhtälöstä

$$W_v = \frac{I_p}{r}, \quad (27)$$

missä  $W_v$  vääntövastus,  $I_p$  on polaarin neliömomentti ja  $r$  putken ulkopinnan säde [23, s. 273]. Yhdistämällä yhtälöt (26) ja (27) yhtälöön (25) saadaan vääntöjännityksen yhtälöksi

$$\tau_v = \frac{Fl}{I_p} = \frac{Flr}{I_p} \quad (28)$$

$$\tau_v = \frac{100531 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 45 \text{ mm}}{\frac{\pi(90 \text{ mm})^4}{32} - \frac{\pi(63 \text{ mm})^4}{32}} \approx 111 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kun ainesputkeen kohdistuvat mahdolliset jännitykset on laskettu, voidaan ottaa huomioon niiden yhteisvaikutukset. Taivutusjännitys luo ainesputken pintoihin normaalijännityksiä eli puristus- ja vetojännityksiä. Taivutuksessa syntyvä leikkausjännitys pyrkii leikkaamaan ainesputken sen kiinnityspisteiden luota ja vääntöjännitys luo suurimman leikkausjännityksen ainesputken ulkokehälle. Yhdistettyjä jännityksiä syntyy taivutus- ja vääntöjännityksen sekä vääntöjännityksen ja leikkausjännityksen välillä. Lasketaan ensin vääntöjännityksen sekä leikkausjännityksen yhteisvaikutus pahimmassa tapauksessa, eli lasketaan ne yksinkertaisesti yhteen. [22, s. 276.]

$$\tau_{\text{yhd}} = \tau_v + \tau_{l \text{ max}} = 111 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutusjännityksen sekä vääntöjännityksen yhteisjännitystä ei voida laskea yhtä yksinkertaisesti, kuin leikkausjännityksien yhteisvaikutusta. Yhdistetty jännitys voidaan laskea yleisesti vakiomuodonvääristymistyyöhypoteesin avulla. Vakiomuodonvääristymistyyöhypoteesi voidaan laskea yhtälöstä

$$\sigma_{\text{yhd.}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}, \quad (16)$$

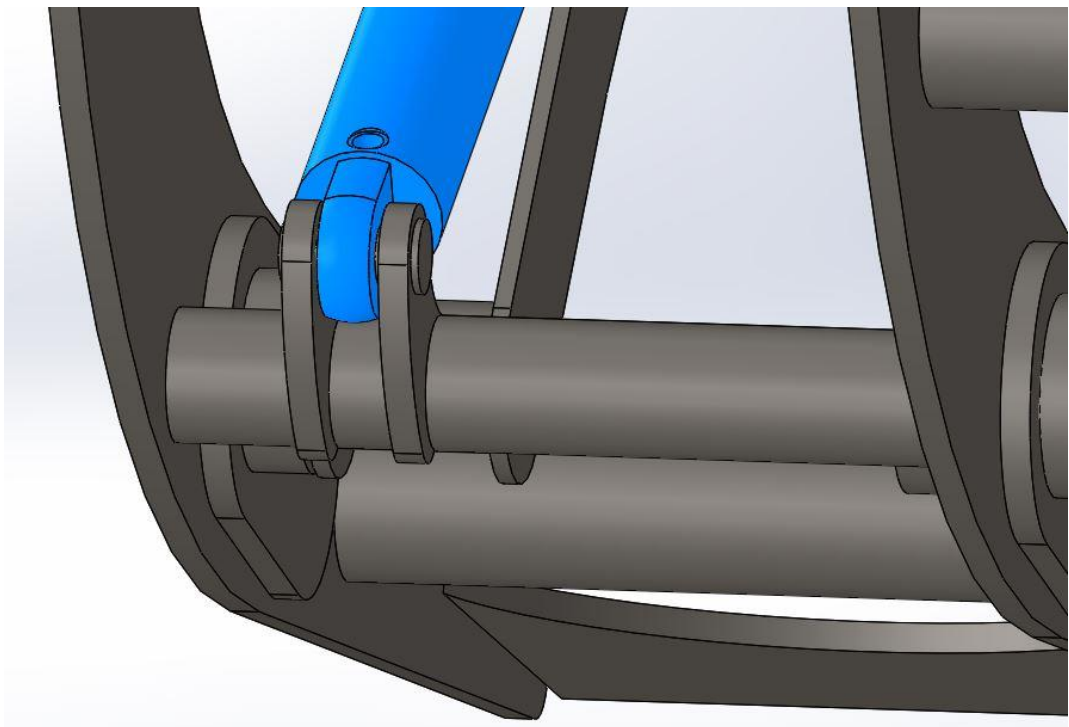
missä  $\sigma_{\text{yhd}}$  on yhdistetty jännitys,  $\sigma_x$  on normaalijännitys,  $\sigma_y$  on toinen normaalijännitys ja  $\tau_{xy}$  on leikkausjännitys [24, s. 9.2]. Koska tässä tapauksessa lasketaan ainoastaan taivutusjännityksen ja väännöstä aiheutuvan leikkausjännityksen yhdistettyä jännitystä, voidaan toinen jännitysmuoto supistaa pois yhtälöstä. Yhtälöksi tulee tällöin

$$\sigma_{\text{yhd.}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}. \quad (17)$$

Sijoitetaan aiemmin laskettu taivutusjännitys ( $136 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ) sekä väännöstä aiheutuva leikkausjännitys ( $111 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ) yhtälöön (17)

$$\sigma_{\text{yhd.}} = \sqrt{\left(136 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3\left(111 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2} = 235,497 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

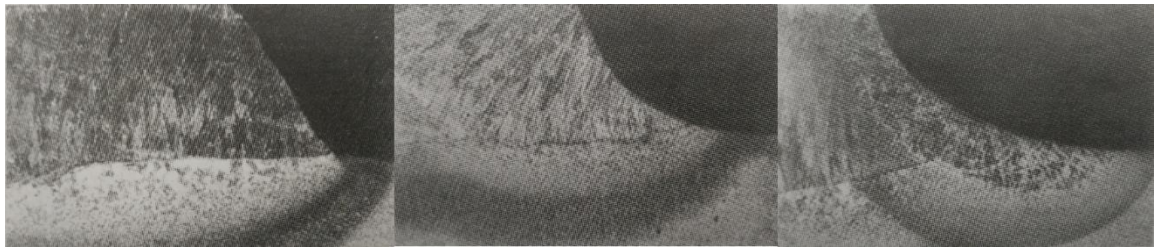
Taivutusjännityksen sekä vääntöjännityksen yhdistetty jännitys on suuruudeltaan suurempi kuin leikkaavien jännitysten yhteisjännitys. Taivutus- ja vääntöjännityksen yhdistetty jännitys ei kuitenkaan ole liian suuri, koska ainesputken myötöraja on korkea, eli  $420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ . Tuloksista voidaan päätellä, että ainesputki kestää siihen kohdistuvat jännitykset.



Kuva 23. Hydraulikkasyylinterin alapään kiinnitys

Koska hydraulikkasyylinterin alapään kiinnityskorvakoihin kohdistui SolidWorks-simulaation ja laskentojen mukaan suuria jännityksiä, tuli korvakoiden hitsaamiseen kiinnittää erityistä huomiota. Vaikka korvakot oli suunniteltu jakamaan kuormat mahdollisimman laajalle alueelle ainesputkeen, sen virheellinen hitsaaminen ainesputkeen voi vähentää rakenteen väsymiskestävyyttä. Väsymiskestävyyden parantamiseksi hitsin ja perusaineen välinen liittymiskulma on oltava mahdollisimman pieni, jolloin hitsin ja perusaineen liittyminen olisi mahdollisimman jouheva, eikä alkusäröjä synny niin helposti. Hitsattaessa tulee myös huomioida, että korvakon nurkat ovat väsymiskestävyyden kannalta kriittisiä alueita alkusärön syntymiselle. Tämän takia hitsaamisen aloittamista ja lopettamista tulee

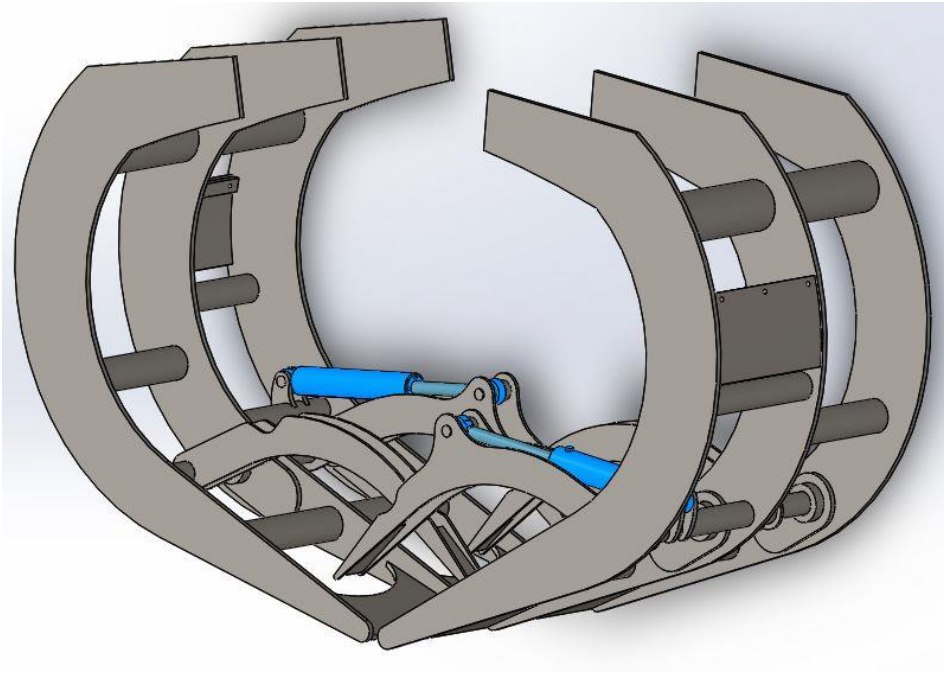
välttää nurkkien kohdalla. Lisäksi korvakon kiinnityksen väsymislujuuden parantamiseksi hitsisaumat tulee hioa tai TIG-käsitellä korvakon lyhyiden sivujen kohdalta. Hiominen tai TIG-käsittely pienentää hitsin ja perusaineen välistä liittymiskulmaa, joka edesauttaa väsymiskestävyyttä. Hitsien käsittelyt näkyvät kuvassa 24. Hiottaessa on kuitenkin otettava huomioon, että hiontanaarmut eivät saa olla kohtisuorassa kuormitus-suuntaan nähden. Hitsaajalla onkin tärkeä rooli hitsaamiseen sekä hiontaan liittyen, jonka takia hitsaajalta vaaditaan hyvää ammattitaitoa, jotta rakenteesta tulisi mahdollisimman väsymiskestävä. [20, s. 38, s. 129.]



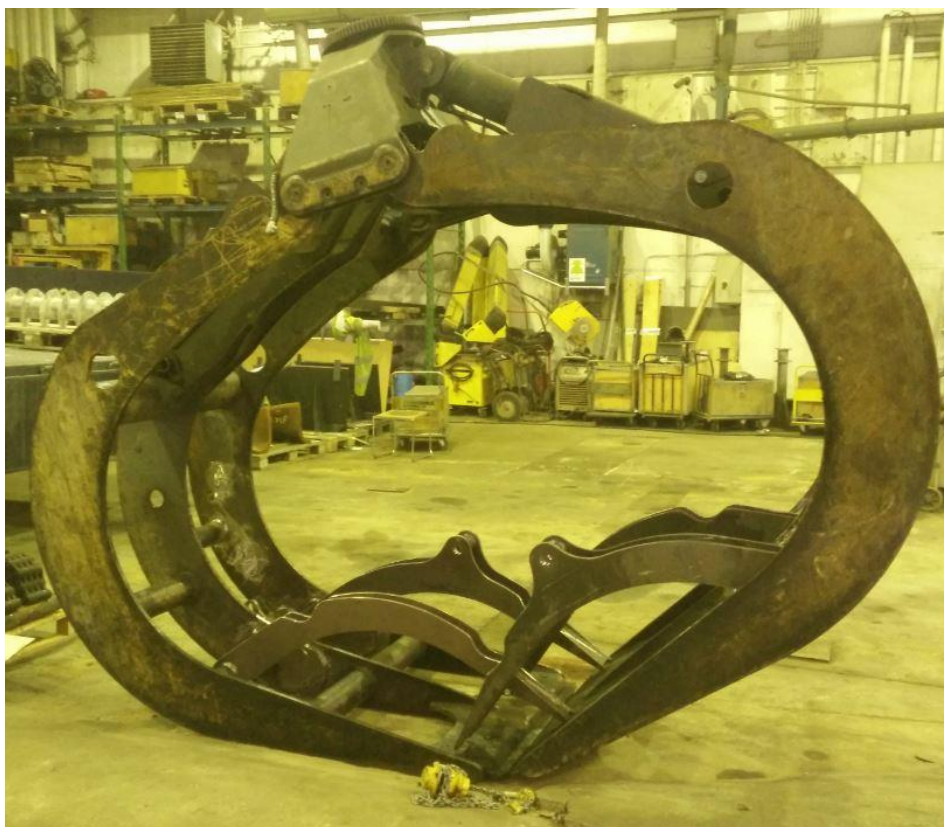
Kuva 24. Vasemmalla käsittelemätön hitsi, keskellä hiottu hitsi ja oikealla TIG-käsitelty hitsi. [20, s. 129.]

## 6.5 Valmis ratkaisu

Valmis puukahmarin malli osoittautui hyväksi toimivuuden, kestävyiden sekä kustannusarvion kannalta. SolidWorks-simulaation sekä laskentojen perusteella puristinvarsiratkaisu tulee kestävänsä sen käyttötarkoituksen. Väsymisanalyysin tulosten perusteella voitiin arvioida puristinvarsien kestävänsä käytössä useita vuosia, kunhan reaktiotangon laakerit rasvataan säännöllisesti. Viimeisenä työvaiheena oli valmistaa uudet osat konepajalla sekä asentaa ne puukahmariin. Valmistusta varten puukahmarista tuli laatia piirustukset, joiden perusteella työntekijät osaisivat valmistaa ja asentaa osat oikein. Piirustusten luomiseen käytettiin jälleen apuna SolidWorksiä. Piirustukset luotiin jokaisesta uudesta osasta ja piirustuksista kävi myös ilmi osien sijoitus puukahmariin. Piirustuksista tuli hyvät ja puristinvarret saatiin asennettua puukahmariin lukitusketjujen tilalle. Kuvassa 25 on esitetty puukahmarin malli ja kuvassa 26 puukahmari todellisuudessa.



Kuva 25. Valmis malli



Kuva 26. Puukahmari konepajalla. Puukahmarista puuttuu vielä hydraulikkasyylinterit sekä hydraulikkasyylinterien suojalevyt.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Volvon valmistamaan puukahmariin puristinvarret lukitusketjujen tilalle ja tehdä tarvittavista muutoksista valmistuspiirustukset. Puukahmarissa oli alun perin lukitusketjut, jotka eivät asiakkaan mielestä soveltuneet käyttötarkoitukseen. Tämän takia lukitusketjut poistettiin ja tilalle suunniteltiin puristinvarret. Suunnittelutyö alkoi tutkimalla vastaavanlaisia ratkaisuja. Neuvottelut asiakkaan kanssa sekä tutkimustyö antoivat hyvän lähtökohdan alkaa suunnittelemaan puukahmariin tulevia puristinvarsia.

Suunnittelutyö toteutettiin käyttäen apuna SolidWorks 2014-ohjelmistoa. Suunnittelutyö toteutettiin SolidWorksillä alusta loppuun. SolidWorks on monipuolinen suunnitteluohjelma, joten sen avulla pystyttiin simuloimaan puristinvarsien toimintaa. Simulaation avulla saatiin hyvä arvio puristinvarsien kestävydestä. Kun puristinvarsien ja hydraulikkasylintereiden kiinnityspisteiden kestävyys oli varmennettu myös laskemalla, voitiin suunnitelmista luoda piirustukset.

Piirustuksien piirtämisessä käytettiin myös apuna SolidWorksiä. Piirustukset piirrettiin kaikista uusista osista sekä siitä, kuinka osat sijoittuvat puukahmariin. Piirustuksien perusteella puukahmari pystyttiin valmistamaan Teräsasennus Mankinen Oy:n konepajalla. Valmis puukahmari toimi, kuten suunniteltu ja se on otettu käyttöön asiakkaan toimesta. Opinnäytetyön tavoite saavutettiin ja opinnäytetyö toi paljon uutta kokemusta suunnitteluun sekä mallintamiseen liittyen.



## LÄHTEET

- (1) Bennett WG. 1977. Log grapple.
- (2) Mantsinen Group Ltd Oy. Puukahmari By-pass. Viitattu 2.3.2017. [http://www.mantsinen.com/files/file/MANTSINEN\\_BY-PASS%20GRPPLES.pdf](http://www.mantsinen.com/files/file/MANTSINEN_BY-PASS%20GRPPLES.pdf)
- (3) Mantsinen Group Ltd Oy. Puukahmari Tip-to-tip. Viitattu 2.3.2017. <http://www.mantsinen.com/files/file/MANTSINENTIP-TO-TIP%20GRAPPLES.pdf>
- (4) Hunger RH. 1968. Log grapple with gripper means.
- (5) Volvo Construction equipment Oy. 2017. Pyöräkuormaajien työvälineet; Kourat. Viitattu 2.3.2017. <https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/attachments/wheel-loader-attachments/grapples/>.
- (6) Piko team Oy. Piko puukourat. Viitattu 5.3.2017. <http://www.pikoteam.fi/piko-puukourat/>
- (7) Vemimet Ky. Viitattu 5.3.2017. <http://www.vemimet.fi/>.
- (8) Mantsinen Oy. Puukahmarit. Viitattu 5.3.2017. <http://www.mantsinen.com/fi/tuotteet/nostoavaleet/puukahmarit>.
- (9) Kesla Oyj. Kahmarit. Viitattu 5.3.2017. <http://www.kesla.fi/products/category/grapples/>
- (10) Intermercato. Grapples and grabs. Viitattu 5.3.2017. <http://www.intermercato.com/en/products/grapples-grabs/>
- (11) Forester. 2017. Log grapple. Viitattu 5.3.2017. <http://forester.ee/en/products/log-grapple/>
- (12) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. SolidWorks. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/capabilities.htm>
- (13) SolidWorks-ohjelmisto. 2014. Introducing SolidWorks (pdf).

- (14) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. Company information. Viitattu 10.4.2017. [http://www.solidworks.com/sw/183\\_ENU\\_HTML.htm](http://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm)
- (15) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. 3D Solid modeling. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/3d-solid-modeling.htm>
- (16) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. 2D Drawings. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/2d-drawings.htm>
- (17) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. SolidWorks simulation solutions. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/solutions.htm>
- (18.) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. Structural analysis. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/structural-analysis.htm>
- (19.) Dassault Systemes SolidWorks Corporation. 2017. Fatigue analysis. Viitattu 10.4.2017. <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/fatigue-analysis.htm>
- (20.) Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y. 2009. Hitsauksen Materiaalioppi. 3. painos.
- (21.) Koivisto K, Laitinen E., Niinimäki M., Tiainen T., Tiilikka P. & Tuomikoski J. 2010. Kone-tekniikan Materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy
- (22.) Valtanen E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. 20. painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.
- (23.) Hytar Oy. Vakiosylinterit. Viitattu 18.3.2017. [http://www.hytar.fi/sites/default/files/pdf/18\\_sylinterit.pdf](http://www.hytar.fi/sites/default/files/pdf/18_sylinterit.pdf)
- (24.) Saarineva J. 1979. Lujuusoppi peruskurssi. 4. Uudistettu painos. Tampere: Pressus Oy
- (25) Zimba, Jason. 2010. Force and Motion, edited by Jason Zimba, Johns Hopkins University Press. ProQuest Ebook Central, <https://kamezproxy01.kamit.fi:2252/lib/kajaani-ebooks/detail.action?docID=3318403>.

## LIITTEET

### 1. Aineistodistus

**SSAB****INSPECTION CERTIFICATE**

No. A142861 DAT

401210-002-001

EN 10204-3.1

Date

23.05.2016

Page

1

Buyer	8387920	Consignee	8387920
TIBNOR OY		TIBNOR OY	
NIINISTÖNKATU 7		NIINISTÖNKATU 7	
05800 HYVINKÄÄ FINLAND		05800 HYVINKÄÄ FINLAND	
Confirmation of Order		Your Order	
401210		4500839000	
Your Reference		Consignment	
		401210-002 23.05.2016	

**MARKING**

Mark of the Manufacturer	Inspector's Stamp	Steel Grade	Cast No.	Pipe No.	Other Stamps
--------------------------	-------------------	-------------	----------	----------	--------------

**SSAB**

S355J2H

**CE****Product**

COLD-FORMED WELDED STRUCTURAL HOLLOW SECTIONS

**Steel Grade**

S355J2H, S1/B, -40 C

NON-ALLOY STRUCTURAL STEEL EN 10219-1

**Technical Terms of Delivery**

EN 10219-1,2:2006 CFRHS

**Inspection**

EDDY CURRENT TESTED EN 10246-3

**SPECIFICATION**

Cast No.	Test No.	Bundle No.	Pos	m	kg	Bundle Pos
Item 20 60 X 60		4.00 X 6000				
C001.A01107						
51459	9794180	40389834-40389836 40389838-40389841				
51463	9794190	40389845 40389850-40389856				
ITEM IN TOTAL			446	2676	17959	15
ITEMS IN TOTAL			446	2676	17959	15

We hereby certify that the products described above have been tested and comply with the terms of the Order contract.

**SSAB Europe Oy**  
Hämeenlinna Tube Works  
Quality Control

Tommi Oksanen

www.ssab.com	Postal Address	Telephone	Telefax
SSAB Europe Oy		+ 358 20 59 11	+ 358 20 59 25546
	FI-13300 HÄMEENLINNA		
Company name	Registered Office	Business ID	
SSAB Europe Oy	Harvialantie 420 FI-13300 HÄMEENLINNA	HÄMEENLINNA	2389445-7

SSAB

DECLARATION OF PERFORMANCE

ref. S355J2H\_20150812

Product type: Cold formed welded structural hollow section: EN 10219-1:2006 S355J2H

Intended use: Structural hollow sections to be used in structural steel components and kits and steel components of composite steel and concrete structures and other steel structures.

Company: SSAB  
SSAB Europe Oy  
Harvialantie 420,  
FI-13300 Hämeenlinna, FINLAND

Verification of constancy:  
System 2+

Notified body:  
Inspecta Sertifiointi Oy  
PL 113  
FI-00181 Helsinki, Finland

Inspecta Sertifiointi (No 0416) has performed initial inspection of the manufacturing plant and factory product control and continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control and issued factory production control certificates.

Essential characteristics:


	Yield strength Rp0.2 min	Tensile strength Rm T<3 mm	Tensile strength Rm T>=3 mm	Elongation A% min*	Impact strength min J / Temp	Weldability CEV max	Tolerances on dimensions and shape	Durability
S355J2H	355	510-680	470-630	20	27 / -40 °C	0.39	EN 10219-2, Clause 6	Suitable for hot dip galvanizing

\*For section sizes D/T < 15 (round) and (B+H)/2T < 12.5 (square and rectangular) the minimum elongation is reduced by 2

Hämeenlinna 12.08.2015

  
Jouko Vuorinen

Head of Hämeenlinna, Lappohja, Pulkila and Oulainen tube mills  
SSAB Europe Oy

 0416	
SSAB SSAB Europe Oy, Harvialantie 420, 13300 Hämeenlinna 07	
ref. S355J2H_20150812 EN 10219-1:2006	
Cold formed welded structural hollow section:	
EN 10219-1:2006	S355J2H
Essential characteristics:	
Yield strength Rp0.2 min	355
Tensile strength Rm T<3 mm	510-680
Tensile strength Rm T>=3 mm	470-630
Elongation A% min*	20
Impact strength min J / Temp	27 / -40 °C
Weldability CEV max	0.39 /
Tolerances on dimensions and shape	EN 10219-2, Clause 6
Durability	Suitable for hot dip galvanizing

\*For section sizes D/T < 15 (round) and (B+H)/2T < 12.5 (square and rectangular) the minimum elongation is reduced by 2

**SSAB****INSPECTION CERTIFICATE**No.  
401210-002-001

EN 10204-3.1

Date  
23.05.2016

Page

2

Item	Cast No.	CEV	Cast analysis %														
			C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Cu	Cr	N	Ti	Mo	Ni	B
20	51459	,35	,09	,17	1,46	,010	,006	,030	,016	,007	,027	0,05	,006	,016	,01	,04	,0001
20	51463	,34	,08	,17	1,43	,013	,005	,030	,015	,010	,021	0,05	,003	,016	,01	,04	,0000

Item	Test Number	Tensile Test				Impact Test					
		P2	Rp0.2	Rm	A	P3	oC	1	2	3	AVG
			N/mm2	N/mm2	%			J	J	J	J
20	9794180	13	503	547	22						
20	9794190	13	515	555	21						

Visual inspection and dimensional control has been performed in compliance with the terms of the order contract- No objection.

**SSAB Europe Oy**  
Hämeenlinna Tube Works  
Quality Control

*Tommi Oksanen*  
Tommi Oksanen

CEV:  $C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$   
P2: 13=Pipe, longitudinal; Ra = surface roughness